



Fatima Zahra Zerouati

Ministre de l'Environnement et des Énergies Renouvelables

PRÉFACE

Au début des années 2000, nous ne savions pas encore que faire des déchets solides ménagers dont la quantité augmentait de manière fulgurante, ce qui avait entraîné la prolifération des décharges sauvages, conséquence du manque de moyens de collecte, de traitement des déchets et savoir-faire.

La priorité des pouvoirs publics était, alors de résorber ces décharges pour en réduire les impacts sur la santé humaine, l'environnement et le cadre de vie du citoyen.

Pour le politique, la priorité résidait dans la mise en place d'un cadre législatif moderne et de structures de traitements des déchets aux normes techniques strictes pour assurer la planification, la réalisation et l'exploitation des Centres d'Enfouissement Techniques (CET) pour aboutir à une élimination écologiquement correcte des déchets solides ménagers.

Pour répondre aux exigences techniques de ces CET, l'Etat n'a pas lésiné sur les moyens financiers. Mais, très vite il est apparu que seul, l'investissement dans les installations techniques ne suffisait pas. La mise en place d'une politique qui prend en charge la gestion des ressources naturelles à travers le recyclage et autres mécanismes pour réduire les déchets s'imposait. Comme s'est imposé de lui-même le principe de la responsabilité élargie du producteur.

La politique de mon département ministériel demeure, pour les années à venir, le développement de l'économie circulaire. Cela va de la mise en place des filières de recyclage pour tous les flux de matières (*carton, plastique, verre, pneus...*) à la formation du personnel travaillant dans le secteur des déchets, en passant par la sensibilisation des citoyens et la mobilisation de la société civile.

Aujourd'hui plus de 50.000 personnes travaillent dans ce secteur, le taux d'encadrement de tout le collectif dans la majorité de nos communes va, dans le meilleur des cas de 0,5 à 2%. Le grand défi est donc l'amélioration de la qualification et des compétences de l'encadrement de ce collectif par les jeunes diplômés de nos universités qu'il va falloir former.

Le présent manuel est un guide (*outil pédagogique*) qui englobe toutes les informations (*procédés, protocoles*) pour l'installation, l'entretien et la gestion des Centres d'Enfouissement Technique. Explicite et simple, il vise à rectifier les erreurs accumulées durant les 15 ans d'existence des CET.

En fin, il me paraît important de rappeler que la propreté dans les lieux publics n'est plus seulement un aspect de respect de la réglementation en matière de salubrité publique, elle donne un sentiment de bien-être et de sécurité au citoyen.

TABLE DES MATIÈRES

Glossaire	13	Considérations géotechniques	71
Introduction	17	Considérations liées à la durabilité	72
PARTIE I : GÉNÉRALITÉS	18	Rayonnement ultra-violet	72
Lois et décrets	19	Oxydation	72
Les classes de CET	20	Micro-organismes	72
La caractérisation des déchets	21	Vandalisme	72
Les déchets ménagers	21	Trafic	72
Composition	21	Animaux	74
Prétraitement des déchets ménagers et assimilés	24	Les lixiviats	75
Les étapes d'un projet	25	Quantité, volume, débit des lixiviats	81
Phases du projet	25	Composition des lixiviats	87
Gestion des projets	27	Drainage et collecte des lixiviats	87
Description des études et de leur déroulement	27	La couche de drainage	89
Phases d'études	28	Les conduites de drainage	90
Phase de réalisation	28	Support des conduites	90
Phase d'exploitation	29	Conception	91
Les intervenants	30	Les regards de collecte et de contrôle	93
Le maître de l'ouvrage	30	Les conduites de collecte et de transport	94
Le maître de l'ouvrage délégué	30	Edifice de passage de digue	95
Le maître de l'œuvre	30	Traitement des lixiviats	96
L'entreprise de réalisation	32	Stockage des lixiviats	98
L'entreprise chargée du suivi des travaux	32	Dimensionnement des bassins de rétention	99
Le gestionnaire du site	33	Bassin d'évaporation	100
PARTIE II : ÉTUDES	35	Bassin de lagunage	101
Les études préliminaires	36	Choix du traitement des lixiviats	105
Définition des besoins	36	Les eaux de surface	105
Le choix du site	40	Collecte des eaux de surface	106
Après le choix du site	45	Les eaux souterraines	106
Levé topographique	45	Contrôles des eaux souterraines	107
Etudes géologiques et hydrogéologiques	45	Bâtiments et infrastructures	108
Etudes géotechniques	48	Poste d'accueil et de pesée	112
Hydrologie	49	Bâtiment administratif	113
Météorologie	49	Structures sociales	114
Base de planification et de dimensionnement	51	Hangar de maintenance	114
Principe de base	51	Les voiries	116
Base de la planification du casier	51	Les réseaux divers	116
Topographie	52	Zone d'emprunt ou de stockage des matériaux	116
Le principe des barrières multiples	53	Les infrastructures complémentaires	119
Exploitation du site	53	Le biogaz	119
Avant-Projet Sommaire	56	Quantité et composition des gaz	119
Les éléments d'un CET	56	Captage des gaz	119
Choix de l'emplacement du casier	60	Traitement et exploitation des biogaz	120
Forme des casiers	60	Brûlage par torchère	123
Talus	60	Valorisation des gaz	124
Systèmes d'étanchéité de base	61	Recouvrement intermédiaire et aménagement	124
Barrière géologique	62	final	127
Étanchéités minérales	63	Étanchéité de surface (<i>couverture</i>)	127
Étanchéité active	64	Étanchéité minérale	128
Têtes des talus et risberme	68	Géo-membrane	128
Fond de forme (<i>portance et pente</i>)	68	Plans APS	130
Ancrages	68	Les études complémentaires	132
Considérations climatiques	69	L'étude d'impact Environnementale (<i>EIE</i>)	132
Hygrométrie et pluviométrie	70	L'étude de danger (<i>EDD</i>)	134
Considérations liées aux agressions diverses	70	Avant-Projet Détaillé	135

Infrastructures, VRD, drainage	136	Documents Techniques	222
Casiers	136	Bâtiments	2223
L'étanchéité passive	142	Remplissage des alvéoles	226
L'étanchéité active	143	Déversement des déchets	230
Les couches de protection	143	Méthode de remplissage	230
Les couches de drainage	143	Plan de suivi	231
La collecte et le traitement des lixiviats	143	Considérations liées à la sécurité et à l'entretien	231
La collecte des eaux de surface	148	Fermeture des alvéoles	233
La collecte et le traitement des biogaz	148	Mise en place du système de récupération des lixiviats	234
Les plans de signalisation et de sécurité	151	Mise en place du système de récupération du biogaz	234
Plans APD	154	Réaménagement final	235
Les équipements	155	Terre de recouvrement	235
Généralités sur l'élaboration de plans	163	Protection de l'environnement	236
Dossier d'appel d'offres	165	Protection de la nappe phréatique	236
Le Plan d'Assurance Qualité (PAQ)	172	Gestion des lixiviats	237
PARTIE III : RÉALISATION	173	Contrôles des biogaz	238
Réalisation	174	Contrôle des poussières, papiers, envois divers	239
Responsabilités	174	Contrôle des bruits et odeurs	239
Contrôles internes	175	Lutte contre les animaux	240
Contrôles externes	176	Prévention incendie	240
Missions de contrôles internes et externes (CI et CE)	178	Le matériel	240
Contrôles extérieurs	174	Manutention des déchets	241
Suivi des travaux	179	Compactage	241
Contrôles associés à la mise en œuvre et réception de la structure support	180	Manutention du matériau de couverture	241
Méthodologie de contrôle	181	Fonction d'entretien	242
Installation de chantier	183	Matériel nécessaire	242
Clôture	184	Entretien du matériel de sécurité	243
Bâtiments	184	Les moyens humains	243
Planche d'essais	184	Formation	244
Documentation des résultats des essais et analyses	185	Formation initiale et continue	244
Terrassement/mise en place de l'étanchéité passive	187	Administration	244
Mise en place de l'étanchéité active (<i>plan de pose</i>)	191	Comptabilité et contrôle des dépenses	245
Les couches de protection	201	Evaluation de performance	245
Les couches de drainage	201	Relations avec la population	246
La collecte et le traitement des lixiviats	201	Manuel d'exploitation	246
La collecte et le traitement des biogaz	202	Journal d'exploitation	247
Travaux annexes (<i>infrastructures, bâtiments, voiries</i>)	202	Rapport annuel	248
Validation des travaux	203	Programme de mesures et de contrôle	248
Réceptions provisoires	206	Mesures d'hygiène et de sécurité	251
Réception définitive	207	Fermeture et post- exploitation	
PARTIE IV : EXPLOITATION	206	Annexe	
Autorisation d'exploitation	209		
Le contexte du site	210		
Règles de fonctionnement	211		
Admission des déchets	212		
Horaires d'ouverture du site	212		
Contrôle des accès au site	213		
Les responsabilités de l'agent de réception	213		
Contrôle de la circulation	215		
Panneau d'information	215		
Pesée des déchets à l'entrée	216		
Le chiffonnage	217		
Création des alvéoles	218		

LISTE DES FIGURES

Figure 1 . Zones de l'Algérie [1]	21
Figure 2 . Caractérisation des déchets dans la zone Nord [2]	22
Figure 3 . Caractérisation des déchets dans la zone semi-aride [2]	22
Figure 4 . Caractérisation des déchets dans la zone aride [2]	22
Figure 5 . Caractérisation moyenne des déchets en Algérie [2]	23
Figure 6 : Chronogramme approximative du déroulement d'un projet de CET [1]	25
Figure 7 . Etapes d'un projet de réalisation d'un CET [1]	26
Figure 8 . Intervenants dans la réalisation de CET (<i>situation actuelle</i>) [1]	33
Figure 9 . Intervenants dans la réalisation de CET (<i>situation future</i>)	33
Figure 10 . Procédure pour le choix du site [1]	35
Figure 11 . Détermination de la surface du site en fonction de la durée de vie [1]	36
Figure 12 . Cas pour le choix du site [1]	39
Figure 13 . Analyse multicritères [1]	41
Figure 14 . Schéma type d'un piézomètre [1]	46
Figure 15 . Méthodologie de base pour la préparation de l'APS [1]	50
Figure 16 . Choix du casier en fonction de la topographie [1]	51
Figure 17 . Etanchéité active et passive	52
Figure 18 . Exemple de casiers avec plans de phasage (en APS) [1]	53
Figure 19 . Plan d'un Centre d'enfouissement technique [1]	56
Figure 20 . Schéma d'un portail d'entrée avec clôture et poste de gardiennage (APS) [1]	58
Figure 21 . Système d'étanchéité: structures [1]	60
Figure 22 . Exemple d'un système d'étanchéité de base	61
Figure 23 . Rapport entre la granulométrie et la perméabilité du sol [3]	63
Figure 24 . Mise en place du système d'étanchéité sur talus	65
Figure 25 . Cause et objectif de la mise en place d'un géotextile de protection [4]	69
Figure 26 . Méthodologie de dimensionnement d'une installation de traitement des lixiviats	73
Figure 27 . Coupe en travers du système de drainage en fond de casier (APS) [7]	87
Figure 28 . Coupe du système de drainage des lixiviats en APS [8]	87
Figure 29 . Perforation des conduites de drainage [9]	90
Figure 30 . Regard des lixiviats avec dispositif de siphon	91
Figure 31 . Regard de maintenance et de contrôle des lixiviats (<i>coupe type en APS</i>) [1]	92
Figure 32 . Raccord sur massif béton [10]	93
Figure 33 . Raccordement avec manchon [10]	93
Figure 34 . Puits d'observation des eaux souterraines (<i>piézomètre</i>)	105
Figure 35 . Aide à la conception des bureaux	107
Figure 36 . Esquisse d'un bâtiment d'accueil avec pont bascule (APS) [1]	109
Figure 37 . Esquisse alternative pour bâtiment d'accueil	110
Figure 38 . Exemple d'un bâtiment administratif (<i>en APS</i>)	111
Figure 39 . Zone "blanche"/zone "noire"	112
Figure 40 . Exemple d'un hangar de maintenance en APS [1]	113
Figure 41 . Coupe type de voirie	114
Figure 42 . Largeur recommandée de la voie en fonction des différents cas de véhicule	114
Figure 43 . Parking et baies d'évitement	115
Figure 44 . Installation de lavage des roues de conception simple [1]	116
Figure 45 . Installation de lavage des roues mécanique [1]	116
Figure 46 . Coupe d'une station essence (APS)	117
Figure 47 . Coupe de la citerne à essence (APS)	117
Figure 48 . Développement du biogaz en fonction des années d'exploitation	118
Figure 49 . Schéma d'un puits de captage des biogaz [1]	121
Figure 50 . Type de torchère	123
Figure 51 . Système de d'étanchéité de surface (<i>recouvrement final</i>)	126
Figure 52 . Exemple de calcul de stabilité d'une digue en phase initiale [11]	136
Figure 53 . Calcul de stabilité en phase finale [11]	137
Figure 54 . Plan de masse d'un casier (<i>état initial</i>) [1]	139

Figure 55 . Plan de masse d'un casier (<i>fin de vie</i>)	140
Figure 56 . Plan de masse d'un casier (<i>phasage</i>)	141
Figure 57 . Coupe du système de drainage en APD	143
Figure 58 . Exemple d'un regard de maintenance et de contrôle en APD	144
Figure 59 . Exemple d'utilisation de coupe type pour regard de contrôle en APD	146
Figure 60 . Exemple d'une coupe d'un raccord sur massif béton (<i>APD</i>)	147
Figure 61 . Détail d'un caniveau de collecte des eaux superficielles	147
Figure 62 . Extrait d'un plan en vue avec emplacement des puits de dégazage	148
Figure 63 . Exemple d'une station de collecte des biogaz (<i>APD</i>)	149
Figure 64 . Exemple d'un plan de signalisation	150
Figure 65 . Exemple d'un panneau d'information du site	151
Figure 66 . Exemple des panneaux de signalisation du site (<i>dimensionnement</i>)	151
Figure 67 . Exemple d'un plan de sécurité spécifique du site (1)	152
Figure 68 . Exemple d'un plan de sécurité spécifique du site (2)	152
Figure 69 . Exemple d'une cartouche de plan	162
Figure 70 . Pliage des plans selon normes (<i>DIN 824</i>)	163
Figure 71 . Responsabilités et niveaux de contrôle lors de la réalisation	173
Figure 72 . Planche d'essai/zone de convenance	184
Figure 73 . Déroulement des travaux pour la réalisation d'une triple couche d'étanchéité minérale, lorsque les matériaux peuvent être empruntés sur le site même du projet (<i>Cas A</i>)	187
Figure 74 . Déroulement des travaux pour la réalisation d'une triple couche d'étanchéité minérale lorsque les matériaux ne peuvent pas être empruntés sur le site même du projet (<i>Cas B</i>)	18
Figure 75 . Séquence d'équipement pour le travail d'une étanchéité minérale de base	188
Figure 76 . Chaîne d'équipement pour la mise en place de l'étanchéité minérale de base et sur les talus	188
Figure 77 . Travaux de renforcement des ancrages	190
Figure 78 . Exemple d'un plan de calepinage (<i>plan de pose de la géo-membrane</i>)	193
Figure 79 . Schéma de principe [10]	199
Figure 80 . Procédure d'accueil des déchets	213
Figure 81 . Plan de phasage et de remplissage	219
Figure 82 . Organisation structure du déchargement (<i>source Bomag</i>)	222
Figure 83 . Technique de compactage des déchets (<i>source Bomag</i>)	225
Figure 84 . Gestion classique en alvéole de forme (<i>rectiligne uniforme</i>)	226
Figure 85 . Gestion en bande	227
Figure 86 . Gestion en demi-cercle	228
Figure 87 . Détail de la zone de dépotage	229
Figure 88 . Risque d'un CET mal exploité (<i>source ADEME</i>)	232

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 . Législation actuelle applicable en matière de gestion des déchets	18
Tableau 2 . Evaluation des coûts et des efforts des différentes phases du projet en % des honoraires totaux	24
Tableau 3 . Tableau Excel pour le calcul du volume d'enfouissement	38
Tableau 4 . Résultats de différentes analyses de lixiviats effectués en Algérie (<i>Geoplan 2006</i>) [6]	82
Tableau 5 . Recommandations pour la couche de drainage	88
Tableau 6 . Recommandations pour les conduites de drainage	89
Tableau 7 . Tableau comparatif des différents traitements de lixiviats (<i>aide à la décision</i>) [5]	102
Tableau 8 . Tableau des normes de rejets après traitement (<i>lixiviats</i>)	103
Tableau 9 . Données de planification (<i>consumation en eau et calcul électricité</i>).	115
Tableau 10 . Composition typique du biogaz d'un CET	118
Tableau 11 . Données caractéristiques essentielles pour la combustion du gaz comparées à celle du gaz naturel L et H	124
Tableau 12 . Étanchéités de surface en fonction des conditions climatiques [13]	128
Tableau 13 . Contrôles à effectuer dans le cadre de l'inspection des géo-membranes et produits similaires par l'organisme externe	176
Tableau 14 . Contrôles et essais à effectuer sur les matériaux minéraux dans le cadre des investigations géotechniques par l'organisme de contrôle externe	177
Tableau 15 . Tâches requises pour le contrôle interne et externe	178

LISTES DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

AND	Agence Nationale de Déchets
APD	Avant-Projet Détaillé
APS	Avant-Projet Sommaire
BET	Bureau d'Etudes
DAO	Dossier d'Appel d'Offres
DBO ₅	Demande Biologique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DIN	Deutsche Industrie Norm (<i>Norme industrielle Allemande</i>)
EPIC	Entreprise Publique à Caractère Industriel et Commercial
FIDIC	Fédération internationale des Ingénieurs-conseils
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
ISO	International Organisation for Standardisation

GLOSSAIRE

Base / Fond du casier	Niveau de l'étanchéité à la base du casier
Casier	Zone d'exploitation du CET, qui est séparée spatialement et/ou techniquement du reste du site (<i>étanchéité de base</i>) et qui peut être exploitée indépendamment des autres zones d'exploitation du CET
Dégazage	Collecte des biogaz par des collecteurs et transport des gaz par aspiration (<i>dégazage actif</i>) ou par l'utilisation des gradients de pression au niveau des ouvertures dans le système d'étanchéité de surface (<i>dégazage passif</i>).
Etanchéité de surface	Système d'étanchéité mis en place en tant que couverture étanche à la surface du casier lors de sa fermeture.
Gaz de décharge	Gaz produit par la dégradation des déchets dans la zone d'enfouissement
Système de dégazage	Système de collecte et de traitement des biogaz, composé de puits de gaz (<i>collecteurs verticaux</i>) et de collecteurs horizontaux, de conduites de transport des gaz, de collecteurs de condensat, de sous-stations de collecte, de torchères ou moteurs à gaz, etc.
Géomembrane	Géosynthétique en PEHD utilisé en tant que composante du système d'étanchéité. Les lès doivent être soudés les uns aux autres.
Mono-déchargement	Zone d'enfouissement ou casier, dans laquelle ou dans lequel seuls certains déchets spécifiques, caractérisés par des propriétés similaires peuvent être déposés, en fonction de leur type, de leur teneur en polluants et de leur comportement réactif.
Phase post-exploitation	Période suivant la désaffectation d'une zone d'enfouissement ou d'un casier jusqu'à la date fixée par les autorités compétentes marquant la fin de la période post-exploitation.
Profilage	Nivellement de la surface d'une zone d'enfouissement ou d'un casier, pour pouvoir mettre en place au-dessus le système d'étanchéité de surface avec la pente nécessaire pour le système de drainage.
Lixiviats	Tout liquide qui s'infiltre à l'intérieur du casier et qui est évacué du casier

Système de collecte des lixiviats	Système constitué d'une couche de drainage en graviers à la base avec des conduites de collecte perforées dans la couche de drainage, de conduites non-perforées et de regards pour le transport du lixiviat et le contrôle du système (<i>vannes</i>), et de bassins de lixiviats.
Période de d'exécution	Période comprise entre la fin de la phase d'exploitation de d'une zone d'enfouissement ou d'un casier jusqu'à la fermeture définitive du site ou d'un casier.
Contrôle interne	Contrôle réalisé par l'entreprise pour s'assurer de la qualité de sa production ou prestation. Il comprend : Le contrôle interne réalisé par les exécutants eux-mêmes.
Contrôle externe	Contrôle exercé par le maître d'œuvre ou un organisme mandaté par le maître d'ouvrage. Commentaire : ce contrôle peut consister en un audit du système qualité de l'entreprise sur le chantier, la vérification des contrôles réalisés et la réalisation d'essais pour valider les résultats du contrôle interne. Recommandation : il est souhaitable de dissocier l'organisme de contrôle extérieur de l'organisme de maîtrise d'œuvre.
Défaut	Non satisfaction aux exigences de l'utilisation prévue
Non-conformité	Non satisfaction aux exigences spécifiées.
Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ)	Document explicitant pour l'ouvrage considéré, l'ensemble des dispositions prises par une entreprise pour l'obtention de la qualité requise. Commentaire : par exemple les moyens de mise en œuvre et de contrôle.
Point d'arrêt	Point au-delà duquel le chantier ne doit pas se poursuivre sans l'aval du contrôle extérieur. Commentaire : par exemple la réception du support avant mise en œuvre du Système d'étanchéité.
Qualité	Ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confère l'aptitude des besoins exprimés ou implicites.
Qualité d'usage	Aptitude à remplir les fonctions définies par le donneur d'ordre (<i>Maître d'Ouvrage</i>).
Qualité requise	Traduction de la qualité d'usage sous forme d'exigence contractuelle ou que se fixe l'intervenant exprimé, en exigences de résultats ou de moyens. Commentaire : par exemple définitions et spécifications du Dispositif d'Étanchéité - Drainage par Géosynthétiques.
Schéma Directeur de la Qualité (SDQ)	Document établi sur la base des plans d'assurance de la qualité par le maître d'œuvre en concertation avec les entreprises titulaires du marché ; Commentaire : il définit l'ensemble des actions pour l'obtention de la qualité par exemple l'interaction entre le terrassier et l'étancheur.
Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité (SOPAQ)	Le schéma d'organisation prévisionnel du plan de l'assurance qualité établi par l'entreprise est joint au dossier de remise d'offre. Commentaire : il permet de juger l'aptitude de l'entreprise à l'obtention de la qualité requise.
Termes relatifs aux assemblages des géomembranes	
Géomembrane composée	Produit manufacturé formé par superposition et assemblage de plusieurs composants dont au moins une géomembrane. Les composants autres que la géomembrane sont dénommés matériaux associés. Ils sont indissociables de la géomembrane sans altération de celle-ci.

Matériau associé	Couche de matière synthétique ou minérale, adhérente à une ou aux deux faces de la géomembrane, dans une géomembrane composée.
	Géomembrane composée.
Pli	Feuille ou film étanche manufacturé, de composition chimique homogène, constituant l'élément de base pour la fabrication en usine d'une géomembrane.
Géomembrane monopli	Géomembrane constituée d'un seul pli.
Géomembrane multipli	Géomembrane constituée de plusieurs plis indissociables.
Délaminage d'une géomembrane	Séparation des couches de matière d'une géomembrane ; par exemple séparation des plis d'une géomembrane multipli ou des matériaux associés d'une géomembrane composée.
Masse surfacique	Masse de l'unité de surface (<i>exprimée en gramme ou kilogramme par m²</i>).
Épaisseur totale	Épaisseur de la géomembrane, y compris l'armature, les motifs et profil de surface ainsi que les matériaux associés éventuels, dans le cas d'une géomembrane composée.
Épaisseur effective	Épaisseur minimale (<i>participant à l'étanchéité</i>) d'une membrane non lisse ou armée
Motif de surface	Relief à la surface de la géomembrane, généralement obtenu par soufflage ou projection, calandrage ou gaufrage, en vue d'améliorer les caractéristiques de frottement.
Termes relatifs aux assemblages des géomembranes	
Géomembrane composée	Produit manufacturé formé par superposition et assemblage de plusieurs composants dont au moins une géomembrane. Les composants autres que la géomembrane sont dénommés matériaux associés. Ils sont indissociables de la géomembrane sans altération de celle-ci.
Géomembrane fabriquée en place	Géomembrane réalisée sur le site même de service. Elle peut être réalisée en une seule couche (<i>monocouche</i>) ou en plusieurs couches (<i>multicouches</i>).
Géomembrane manufacturée	Géomembrane réalisée en usine. La géomembrane est fabriquée sous forme de lés conditionnés en rouleaux.
Lé	Largeur de production d'une géomembrane. Usuellement, bande de géomembrane.
Spire	Chacun des tours de rouleau de géosynthétique. Feuille ou film étanche manufacturé, de composition chimique homogène, constituant l'élément de base pour la fabrication en usine d'une géomembrane
Nappe (ou panneau)	Ensemble des lés assemblés de manière définitive en usine ou dans un atelier proche du site de service.
Calandrage	Procédé consistant à faire passer une matière entre des cylindres dont un au moins est chauffant.
Enduction	Procédé consistant à rapporter une mince couche de matière à l'état liquide ou pâteux sur un support généralement textile.
Sens de production/sens machine	Direction d'avancement d'une géomembrane manufacturée, pendant sa fabrication.

Sens travers	Direction perpendiculaire au sens de production.
Termes relatifs aux assemblages des géomembranes	
Assemblage	Nappes (<i>ou panneaux</i>). L'assemblage se fait généralement par soudure thermique avec ou sans apport de matière, ou par soudure par solvant, ou par collage, ou par vulcanisation avec ou sans apport de matière.
Joint	Zone de liaison entre lés, nappes (<i>ou panneaux</i>), par extension désigne aussi le résultat de l'opération d'assemblage.
Soudure	Mode d'assemblage des surfaces, amollies, soit par solvant, soit plus généralement par la chaleur. Simultanément, une pression est appliquée sur les faces extérieures de l'assemblage.
Double soudure	Modalité d'assemblage comportant la réalisation simultanée de deux joints parallèles, effectués en soudure automatique et séparés par une zone non soudée. Ce canal central sert généralement à faire des tests d'étanchéité du joint, sous pression
Soudure automatique	Soudure effectuée au moyen d'un dispositif permettant de régler et de maintenir constants les principaux paramètres conditionnant la qualité de la soudure : pression, température, vitesse.
Soudure thermique	Mode d'assemblage avec pression, dans lequel les surfaces sont amollies par la chaleur. Celle-ci génère sur les deux surfaces à souder une température élevée provoquant une fusion partielle des matériaux à souder. Cette chaleur peut être apportée par une lame métallique, par un jet d'air, des ultrasons ou un champ électrique haute fréquence. La soudure peut dans certains cas s'effectuer avec apport de matière amollie par la chaleur.
Soudure par extrusion	Assemblage par ajout de matière amollie.
Couvre-joint	Bande de géomembrane ; mise en place par collage ou soudage sur un joint, et destinée à en renforcer la solidité et/ou l'étanchéité.
Marouflage	Action d'exercer une pression sur une face d'une géomembrane pendant ou immédiatement après sa soudure ou son collage, généralement à l'aide d'un rouleau.

INTRODUCTION

Ce guide technique s'adresse à tous les professionnels du secteur. Il est destiné au maître d'ouvrage, aux bureaux d'études chargés de la conception, aux entreprises de réalisation ainsi qu'au exploitant (*EPIC de gestion*) des Centres d'Enfouissement Technique (*CET*) en Algérie.

Il présente une méthodologie et une aide pour les étapes à suivre pour la réalisation de cette installation de traitement des déchets.

Il présente un outil d'aide au travail et des recommandations pratiques basées sur des expériences en Algérie.

Il est partagé en quatre (04) grandes parties :

- La première partie « **généralités** » présente les bases juridiques relatifs au Centre d'Enfouissement Technique en Algérie, la caractérisation des déchets au niveau national ainsi qu'une description des intervenants et leurs rôles respectifs.
- La deuxième partie se concentrera sur l'élaboration des études et des documents nécessaires pour la réalisation du projet. Elle mettra l'accent sur les différentes étapes et donnera une méthodologie d'approche ainsi que tous les éléments dont les maîtres d'œuvre auront besoin.
- La troisième partie est destinée surtout aux entreprises de réalisation et les bureaux d'études chargés du suivi. Elle présentera les exigences en matière d'assurance qualité et les aspects les plus importants pour la réalisation conforme aux règles de l'art.
- La quatrième partie se consacrera à l'exploitation du site. Cette partie est destinée surtout aux EPICs de gestion mais présente aussi des aspects importants pour les concepteurs qui dès l'élaboration des études se mettent « **dans la peau** » du gestionnaire.

Ce guide est avant tout technique. Il n'a pas la prétention d'être exhaustif. Surtout les aspects théoriques (*développement des lixiviats et du biogaz par exemple*) ont été réduits de manière intentionnée afin de ne pas surcharger le lecteur. Aussi les aspects relatifs au génie civil (*bâtiments, voirie et infrastructure*) n'ont été développés ici que sommairement. L'accent a été surtout mis sur les principes de conception spécifique au CET et non sur les aspects généraux à toute infrastructure comme les calculs de structure ou les normes générales pour la conception de la voirie et des chaussées.

Finalement, ce guide doit être vu comme un fil conducteur et une orientation. Certains croquis ou figure de ce guide peuvent être repris dans leur intégralité (*ceci est valable surtout pour les aspects présentés dans la partie Avant-Projet Sommaire*) mais toujours avec un esprit d'adaptation aux conditions spécifiques de chaque site.

PARTIE I
GÉNÉRALITÉS

PARTIE I

GÉNÉRALITÉS



LOIS ET DÉCRETS

La législation actuellement applicable en matière de gestion des déchets et de Centre d'Enfouissement Technique est constituée par les dispositions légales présentées ci-dessous :

Désignation	Objet	Entrée en vigueur
Loi	Loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.	19.07.2003
Loi	Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.	12.12.2001
Décret	Décret exécutif n° 07-145 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement d'une géomembrane multiple ou des matériaux associés d'une géomembrane composée.	19.05.2007
Décret	Décret exécutif n° 2007-144 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.	19.05.2007
Décret	Décret exécutif n° 06-198 du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.	31.05.2006
Décret	Décret exécutif n° 2006-104 du 29 Moharram 1427 correspondant au 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux.	28.02.2006
Décret	Décret exécutif n° 04-410 du 2 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 14 décembre 2004 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations.	14.12.2004
Décret	Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels	10.07.1993
Directive	Directive 3011/SG du 08.10.2005 relatif à la gestion et l'exploitation des Centres d'Enfouissement Technique.	08.10.2005

Tableau 1 : Législation actuelle applicable en matière de gestion des déchets

LES CLASSES DE CET

En Algérie, comme partout ailleurs, on distingue 3 classes de CET en fonction du type de déchets accepté en enfouissement, à savoir :

Classe 1	Déchets spéciaux
Classe 2	Déchets ménagers et assimilés
Classe 3	Déchets inertes

Le présent manuel se réfère uniquement au CET de classe 2 (*déchets ménagers et assimilés*) mais plusieurs aspects aussi bien dans la conception, que dans la réalisation et l'exploitation sont valables pour les autres classes de CET.

Les CET de classe II sont définis en Algérie comme des installations classées soumises à autorisation de Wilaya (*du Wali compétent*). Le Décret exécutif n° 2007-144 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, les classes sous la rubrique 2719 :

« Ordures ménagères et autres résidus (*Stockage et traitement des*), à l'exclusion des activités visées par d'autres rubriques de la nomenclature ».

Le Décret exécutif n° 2006-104 du 29 Moharram 1427 correspondant au 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris ceux des déchets spéciaux dangereux pour définir le type de déchets pouvant être acceptés sur ce type d'installation.

Le CET est donc une Installation (*classée*) conçue pour le stockage de déchets en minimisant les risques de pollution ou contamination de l'environnement. Chaque installation se distingue selon la dangerosité des déchets stockés.

Installation classée

Les installations et usines susceptibles de générer des risques ou des dangers soumises à une législation et une réglementation particulières (*protection de l'environnement, sécurité etc.*)

* Dans certains pays les CET de classe 1 sont ceux pour déchets inertes et ceux de classe 3 pour déchets spéciaux et vice-versa

LA CARACTÉRISATION DES DÉCHETS

LES DÉCHETS MÉNAGERS

Par déchets ménagers (*DM*), on entend tous les déchets collectés dans les municipalités, c'est-à-dire les ordures ménagères, les encombrants, les déchets verts, les déchets ménagers assimilés provenant des activités commerciales/artisanales et les déchets de marché etc. Sous l'appellation « **déchets ménagers assimilés provenant d'activités commerciales/artisanales** », il convient de comprendre la fraction de déchets qui peut être collectée, traitée et enfouie sous les mêmes conditions que les ordures ménagères.

Font également partie des déchets ménagers certains déchets dangereux produits par les ménages, comme les piles, batteries, peintures, solvants et autres produits de consommation similaires, dans la mesure où ils ne font pas l'objet d'une collecte/élimination séparée et dans la mesure que leurs **quantités soient peu importantes**.

En pourcentage, la part la plus importante des déchets ménagers et assimilés en Algérie provient directement des ménages.

Définition

Déchets ménagers

Déchets produits par les ménages. Ces déchets englobent également les encombrants en provenance des ménages, qui en raison de leur volume ne peuvent pas être collectés avec les ordures ménagères ordinaires, ainsi que les déchets verts.

Déchets assimilés aux déchets ménagers

Il s'agit de déchets issus d'activités commerciales ou artisanales qui, en raison de leur nature, de leur composition et de leurs caractéristiques sont similaires à des déchets ménagers.

En Algérie, la fraction dominante des déchets ménagers est la fraction organique ou putrescible avoisinant les 60%. Ce sont essentiellement les déchets de cuisine des ménages. Ils sont par conséquent facilement biodégradables et présentent une forte teneur en eau. Leur dégradation anaérobie produit des biogaz et leur teneur en eau est une source de production des lixiviats. Ces lixiviats sont caractérisés par une charge élevée en substances polluantes d'origine organique (*DBO₅*, *DCO*).

Les autres déchets acceptés en CET de classe II sont :

- Déchets verts (*en provenance de parcs ou de jardins*)
- Encombrants
- Boues d'épuration (*Selon un pourcentage défini en fonction de la teneur en matières solides des boues*)
- Déchets de marché
- Déchets alimentaires en provenance de la restauration et de l'hôtellerie
- Déchets industriels non dangereux, inertes ou agricoles

Composition

L'Algérie est partagée en 3 zones distinctes par les conditions climatiques, le degré d'urbanisation et par conséquent le développement démographique :

- Zone du Nord (*en vert*)
- Zone semi-aride (*marron foncé*)
- Zone aride (*marron clair*)

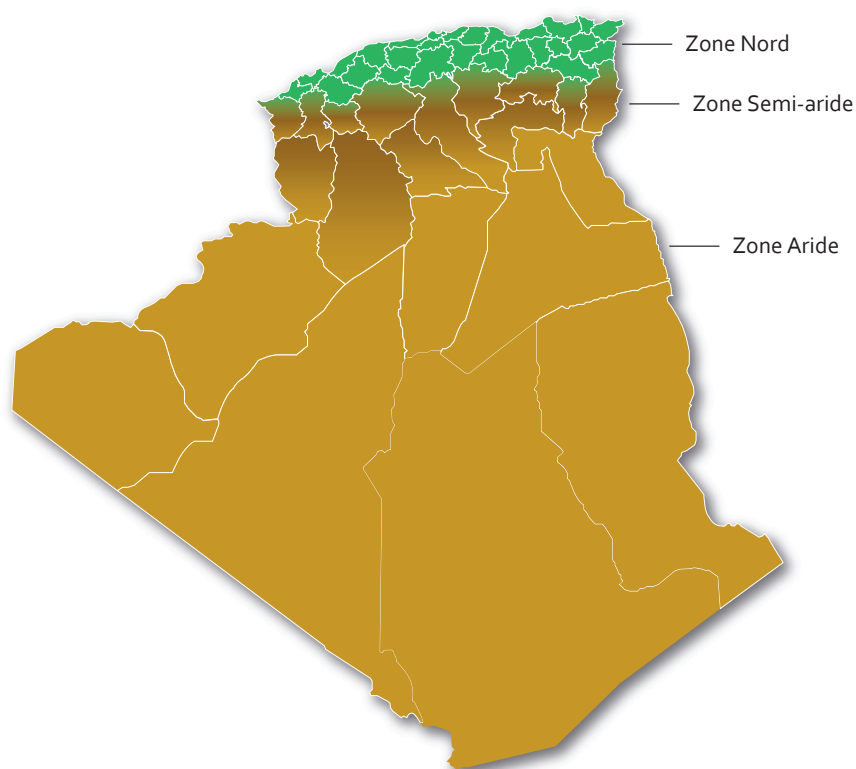


Figure 1: Zones de l'Algérie [1]

Ces facteurs ont un impact sur la caractérisation des déchets et sur le calcul des quantités de lixiviats.

Une étude de caractérisation des déchets a été établie par l'AND en 2014 donnant les résultats suivants. Cette étude a été élaborée selon une méthodologie conforme aux règles de l'art et peut être qualifiée comme donnant des résultats les plus proches de la réalité :

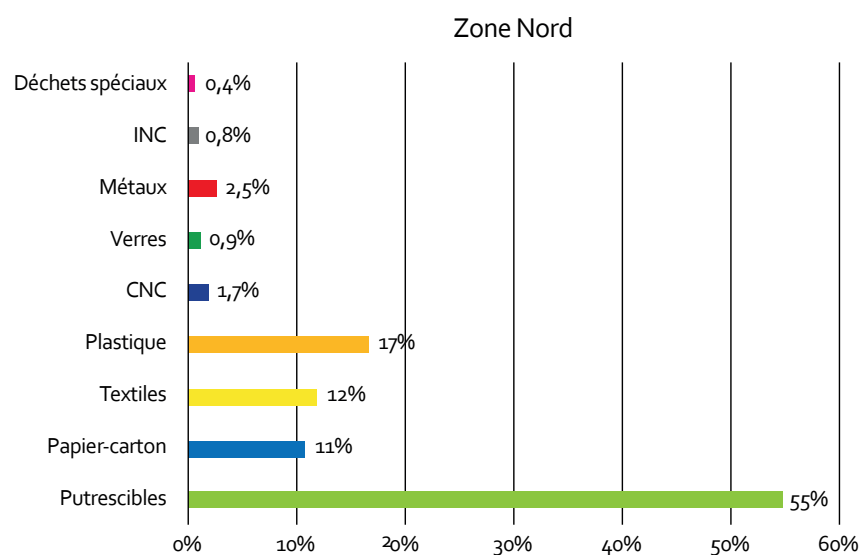


Figure 2: Caractérisation des déchets dans la zone Nord [2]

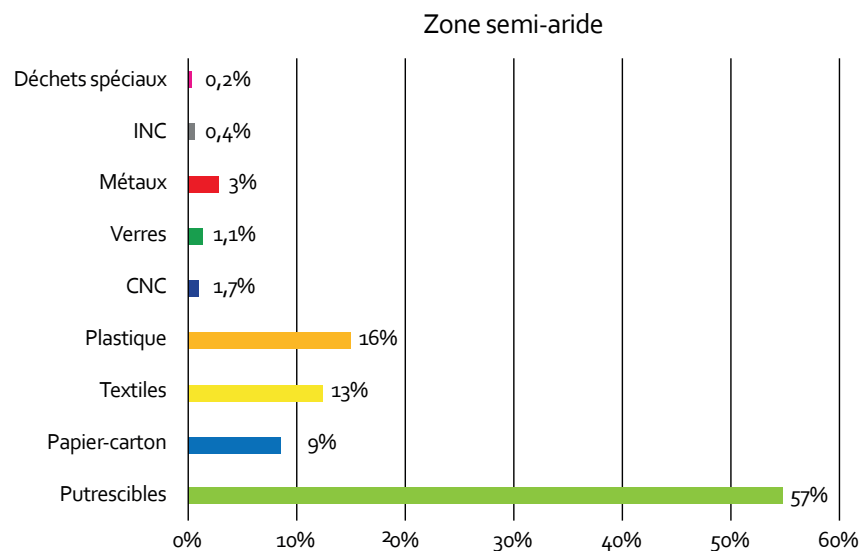


Figure 3: Caractérisation des déchets dans la zone semi-aride [2]

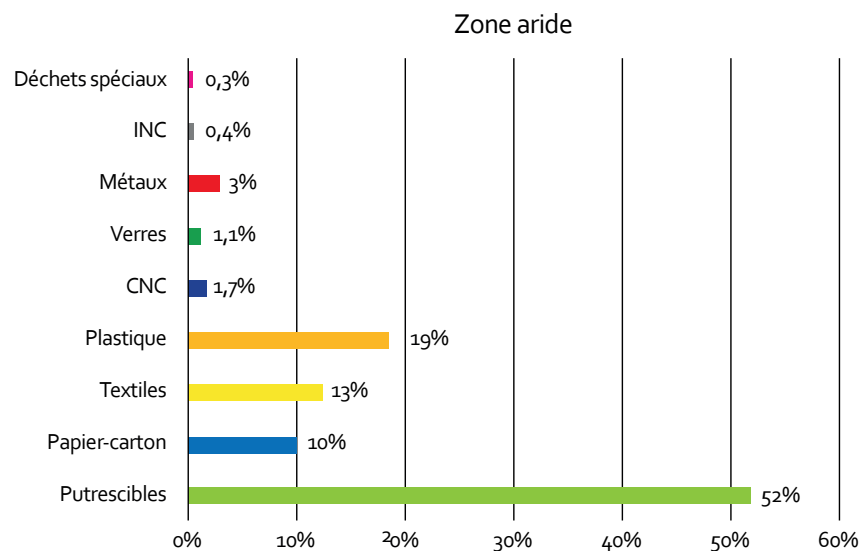


Figure 4: Caractérisation des déchets dans la zone aride [2]

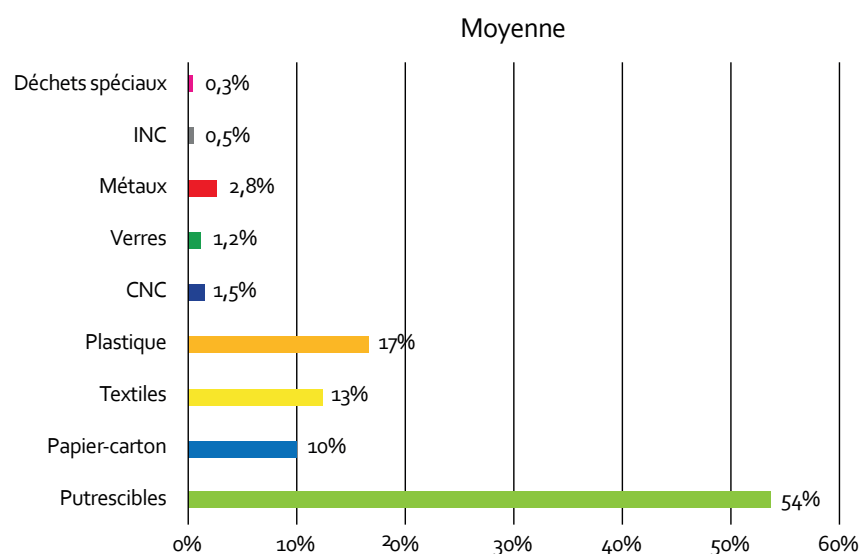


Figure 5: Caractérisation moyenne des déchets en Algérie [2]

PRÉTRAITEMENT DES DÉCHETS MÉNAGERS ET ASSIMILÉS

Les déchets ménagers et déchets assimilés comprennent de grandes quantités de substances biodégradables qui lors de leur enfouissement posent des difficultés importantes du point de vue de l'exploitation ainsi que des problèmes d'ordre écologique.

La décomposition des matières organiques implique en effet la production de biogaz. Ces gaz se composent, pour plus de 50 %, de méthane (CH_4), un gaz à effet de serre, et pour le reste de dioxyde de carbone (CO_2). Pour l'atmosphère, le méthane est un gaz 20 fois plus nocif que le CO_2 . Un dégazage actif ne permet de remédier que partiellement à ce problème. La fraction maximale de méthane pouvant être captée, traitée et recyclée étant en effet comprise entre 20 et 60 % au maximum. L'autre fraction (*pouvant atteindre 50 %*) est rejetée dans l'atmosphère de manière incontrôlée.

La deuxième problématique est causée par la forte teneur en matières organiques dans les déchets ménagers, source de production d'un volume important de lixiviats fortement pollués. En raison du pourcentage élevé de substances organiques et d'eau qui caractérise les déchets ménagers, le simple processus de compactage des déchets suffit déjà pour que des lixiviats soient produits. Or, comme ces lixiviats présentent une très forte concentration en DCO, ils sont difficiles à traiter (*DCO moyenne entre 20 000 à 40 000 mg O₂/l*). Le traitement des lixiviats doit être souvent techniquement sophistiqué et par conséquent coûteux (*investissement et maintenance*).

Depuis plusieurs années, les tendances en matière d'exploitation de CET de classe II prévoit **un prétraitement au niveau du site**. Les déchets arrivant sont souvent broyés et ou tamisés au préalable afin d'avoir une structure homogène plus facile à enfouir et à compacter, le taux d'humidité est diminué, ce qui permet aussi d'augmenter la capacité de compactage et la durée de vie du casier.

L'acquisition d'équipement de prétraitement présente bien sûr des investissements importants mais permettent à long terme une gestion plus économique du site. Ces équipements seront présentés dans la partie équipement de ce guide.

LES ÉTAPES D'UN PROJET

PHASES DU PROJET

Le projet de réalisation et d'exploitation d'un CET se distingue en 3 phases distinctes :

- La phase des études
- La phase de réalisation
- La phase d'exploitation

Vu la complexité de cet ouvrage, un projet de CET, s'il est fait de manière correcte et selon les règles de l'art, nécessite au minimum 3 ans ½ à 4 ans de préparation avant que le site ne puisse être mis en exploitation.

Ceci est non seulement valable pour la réalisation d'un site complet mais aussi pour la réalisation d'une extension.

De manière réaliste, la réalisation et la mise en service d'un CET nécessitent 3 à 4 ans entre l'élaboration des études, l'appel d'offres, la réalisation etc.

Ceci veut dire aussi pour un exploitant qu'il doit commencer l'étude de son nouveau casier (ou de son extension) au moins trois à quatre ans avant la saturation de son casier en exploitation.

Certains grands projets de CET ont atteint un temps de 10 ans et plus avant d'être mis en service (*choix du site et études préliminaires d'envergure*).

En matière d'effort et de coûts pour un bureau d'études, le tableau suivant donne une première appréciation:

Cas numéro 1		Cas numéro 2	
BET engagé jusqu'au suivi des travaux		BET engagé pour l'élaboration de l'étude	
Phase	% d'honoraire	Phase	% d'honoraire
Collecte des données	3%	Collecte des données	8%
Etudes préliminaires	12%	Etudes préliminaires	22%
APS	11%	APS	15%
APD (+EIE et EDD)	25%	APD (+EIE et EDD)	45%
DAO	10%	DAO	10%
Évaluation des offres	5%	-	-
Suivi des travaux	34%	-	-
Total	100 %	-	100 %

Tableau 2: Evaluation des coûts et des efforts des différentes phases du projet en % des honoraires totaux

Ci-dessous sont présentées les différentes étapes d'un projet en fonction de leur durée ainsi que les contraintes possibles pouvant faire engendrer des retards.

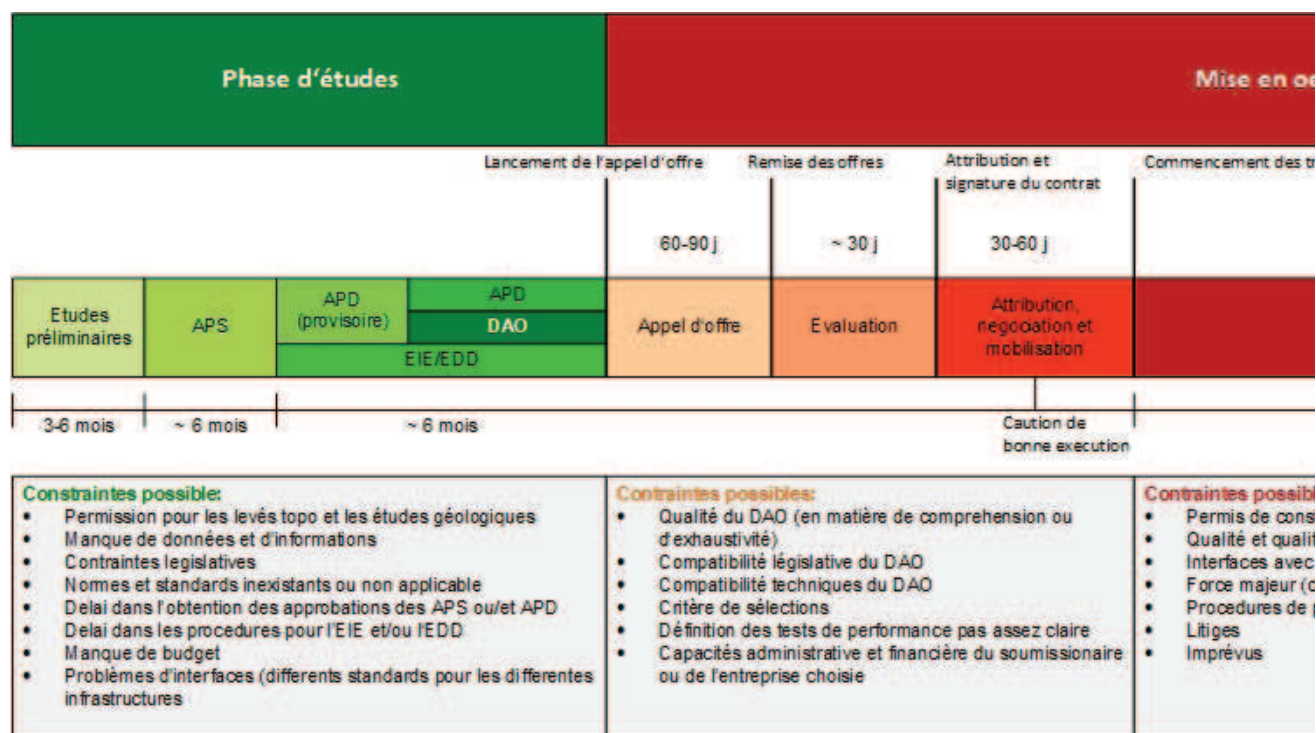


Figure 6 : Chronogramme approximative du déroulement d'un projet de CET [1]

GESTION DES PROJETS

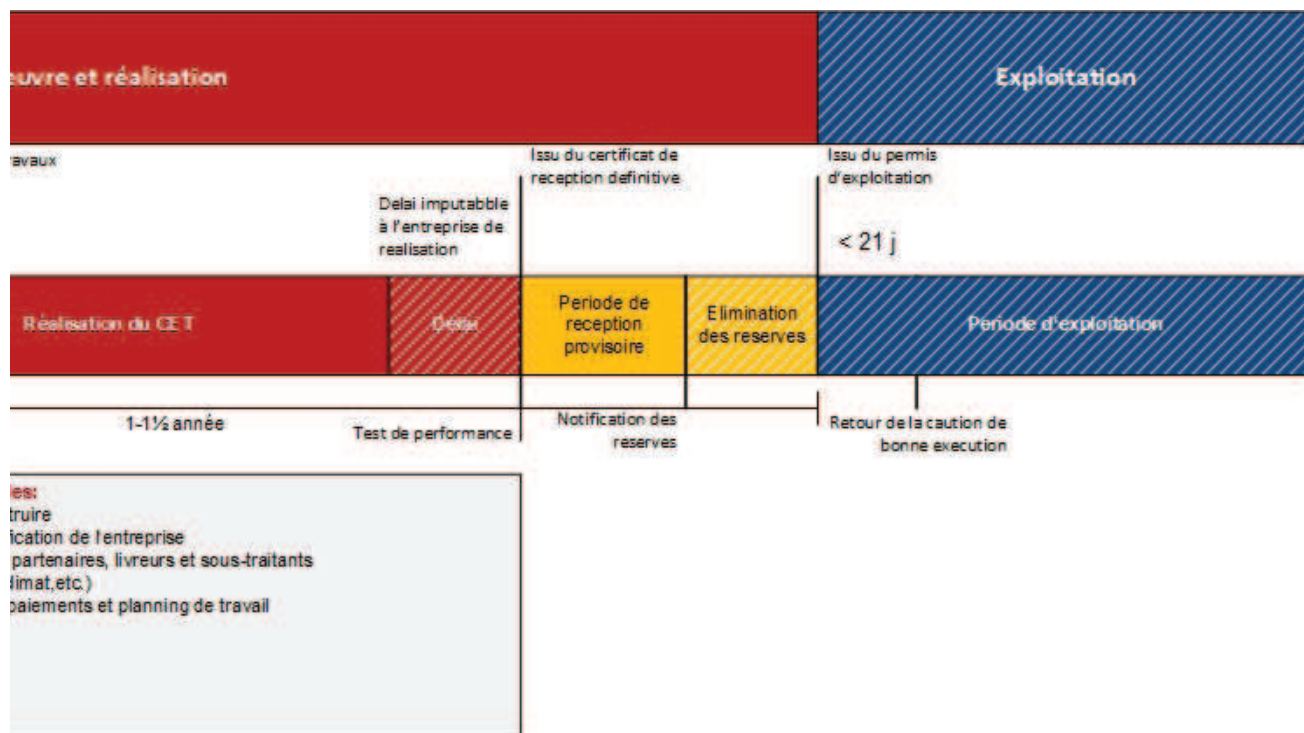
DESCRIPTION DES ÉTUDES ET DE LEUR DÉROULEMENT

Le niveau de précision du projet augmente au fur et à mesure de l'avancement des études. Pour obtenir le permis de construire d'un tel ouvrage, le maître d'œuvre devra présenter à chaque étape une description des travaux aux services compétents afin qu'ils puissent apprécier la nature des spécifications légales ainsi que du dimensionnement des différentes composantes en fonction de leur finalité, c'est-à-dire de l'emploi auquel elles sont destinées.

Le déroulement des différentes phases de planification d'un projet peut être résumé comme suit :



Figure 7 : Étapes d'un projet de réalisation d'un CET [1]



PHASES D'ÉTUDES

Il est recommandé de confier les études et l'élaboration des dossiers d'appel d'offres à un bureau d'études expérimenté et agréé par le ministère de l'Environnement. En outre, la qualité des services proposés par un tel bureau, doit être certifiée conforme à la norme EN ISO 9001 (*qualité*). Les ingénieurs de projet (*maître d'œuvre*) doivent disposer d'une qualification spécifique **«savoir-faire»** dans le domaine respectivement concerné, pouvoir la justifier, et doivent en outre prouver une formation continue correspondante (*certificat*). Le Centre d'enfouissement technique est un ouvrage complexe et peut présenter de problématiques particulières. Dans ce cas, il peut s'avérer nécessaire de recourir à des experts supplémentaires afin de déterminer et d'élaborer une ou plusieurs propositions de solution.

L'équipe chargée de l'élaboration du projet doit être pluridisciplinaire et devrait comporter les éléments suivants :

- Un géologue & géotechnicien
- Un hydrogéologue
- Un topographe
- Un architecte
- Un ingénieur en génie civil pour le calcul de structure
- Un ingénieur en VRD
- Un ingénieur en hydraulique
- Un ingénieur en assainissement pour le traitement des eaux usées/lixiviats
- Un ingénieur en environnement pour l'EIE
- Un expert en marché public pour le DAO
- Un dessinateur CAD
- Un aménageur/paysagiste

PHASE DE RÉALISATION

Toutes les entreprises retenues pour la réalisation d'un CET doivent disposer de connaissances spécifiques et d'une expérience adéquate.

Il est recommandé que les entreprises possèdent la **catégorie IV ou supérieure** (*selon la classification algérienne des entreprises de construction*) avec des connaissances approfondies en **travaux publics et en hydraulique**. Pour les travaux spécifiques d'étanchéité, ou autre, l'entreprise peut, bien sûr, faire appel à des sous-traitants possédant les certifications respectives.

La réalisation des différents éléments du site doit faire l'objet d'une surveillance et d'une supervision:

- Interne, par l'entreprise de réalisation elle-même (*supervision interne*)
- Externe, par un organisme indépendant (*supervision externe*).

Souvent le fournisseur de la géo-membrane et du géotextile possède le personnel qualifié pour ce genre de travaux

PHASE D'EXPLOITATION

Tout au long de la durée de vie du CET, l'exploitant est responsable du respect des règles de qualité et de sécurité sur le site (*telles que fixées dans le règlement interne et dans le manuel d'exploitation, entre autres*).

Le Centre d'Enfouissement Technique reste néanmoins une installation classée qui nécessite un accompagnement non seulement quotidien par l'exploitant lui-même mais aussi des contrôles de conformité périodique, nécessitant l'intervention de spécialistes externes ainsi que de la part de l'administration territorialement compétente. Une description détaillée des responsabilités assumées par les différents acteurs intéressés est présentée dans le prochain chapitre.

LES INTERVENANTS

LE MAÎTRE DE L'OUVRAGE

Le maître de l'ouvrage, que l'on appelle également « **maîtrise d'ouvrage** » ou MOA, est une personne physique ou morale **pour** laquelle un projet est mis en œuvre et réalisé.

Commanditaire du projet, c'est lui qui définit le cahier des charges et par conséquent les besoins, le budget, le calendrier prévisionnel ainsi que les objectifs à atteindre.

Donneur d'ordre, il suit le projet durant toute sa réalisation, il est le dernier à intervenir si besoin lors de la réception, puisqu'il en est à la fois le pilote et le propriétaire.

LE MAÎTRE DE L'OUVRAGE DÉLÉGUÉ

À défaut de compétence dans un domaine donné (*construction de bâtiment par exemple*), le maître de l'ouvrage peut confier à un mandataire (*un maître d'ouvrage mandaté, appelé maître d'ouvrage délégué*) l'exercice, en son nom et pour son compte, de tout ou partie des attributions de la maîtrise d'ouvrage.

- Définition des conditions administratives et techniques
- Préparation du choix du maître d'œuvre, signature et gestion du contrat de maîtrise d'œuvre
- Approbation des avant-projets
- Préparation du choix de l'entrepreneur, signature et gestion du contrat de travaux, du versement de la rémunération de la mission de maîtrise d'œuvre et des travaux ;
- Réception de l'ouvrage.

Le MOD **représente le maître de l'ouvrage** à l'égard des tiers dans l'exercice des attributions qui lui ont été confiées. Il peut notamment agir en justice.

LE MAÎTRE DE L'ŒUVRE

Le maître d'œuvre est la personne physique ou morale qui a en charge la réalisation d'un ouvrage, principalement lors de chantiers dans le domaine de la construction. Le maître d'œuvre peut aussi bien être un bureau d'étude, une entreprise à laquelle on a fait appel, qu'un professionnel ou une organisation.

RÔLE DU MAÎTRE D'ŒUVRE

Le maître d'œuvre conçoit les plans, organise, supervise, coordonne les différentes personnes qui travaillent sur un même projet et livre le produit une fois terminé. Il est choisi par le maître de l'ouvrage pour qui le projet est réalisé.

OBLIGATIONS DU MAÎTRE D'ŒUVRE

Le maître d'œuvre se doit donc de respecter les délais fixés au départ, mais aussi le budget qui figure dans le contrat. En contrepartie, il a le choix des moyens techniques qu'il va déployer. Pour l'aider à réaliser les différentes tâches et à gérer correctement l'ouvrage, il peut s'appuyer sur un chef de projet.

Récapitulatif : Mission du maître d'œuvre

Dans le cadre de la détermination des principes de base

Le maître d'œuvre doit :

- Préciser les différentes tâches à réaliser sur la base des spécifications ou des études des besoins ;
- Déterminer les conditions aux limites et apporter une assistance-conseil quant aux prestations requises et, si de besoin, en ce qui concerne l'équipement technique nécessaire ;
- Résumer, expliciter et documenter les résultats ;
- Travaux de reconnaissance de sites potentiels.

Tout nouveau projet requiert des activités de recherche et de reconnaissance, avant le démarrage des études et des travaux préliminaires. Ces activités peuvent être résumées comme suit:

- Détermination du volume des déchets et de leur composition ;
- Levé topographique du futur site ;
- Reconnaissance géologique, hydrogéologique ;
- Reconnaissance géotechnique ;
- Reconnaissance hydrologique ;
- Données météorologiques ;

Dans le cadre des études préliminaire et de l'APS

- Analyse des principes de base du projet ;
- Coordination avec les autres intervenants
- Élaboration des esquisses du projet
- Pré-dimensionnement des systèmes envisagés
- Elaboration des différentes variantes (*technico-économiques*)
- Représentation graphique (*plans*)
- Schéma fonctionnel de chaque installation
- Établissement du coût prévisionnel de la réalisation du projet et calendrier de réalisation ;

APD et DAO

Une fois définie lors des études préliminaires, la variante la plus favorable retenue doit faire l'objet d'études plus poussées et plus précises réalisées en concertation avec le maître d'ouvrage et les autorités compétentes.

- Détermination définitive de tous les systèmes et parties de l'aménagement du site
- Calculs et dimensionnement des ouvrages/installations spécifiques ;
- Dimensionnement des installations/équipements et des différentes parties de l'aménagement ;
- Estimation des besoins annuels (*calculs des besoins en énergies initiale, utile et finale*) ;
- Représentation graphique (*plans à des échelles appropriées*) de l'ensemble de l'APD
- Précision et détails des schémas fonctionnels et des différents tronçons des installations ;
- Liste des installations/équipements avec leurs données techniques ;
- Description des installations/équipements assortis des conditions d'utilisation ;

- Calcul des coûts (*accompagné d'une comparaison avec le devis estimatif initial*) et calendrier de la réalisation du projet et des travaux ;
- Synthèse, explication et documentation des résultats.

Outre la conception de l'étanchéité de base, il convient parmi les détails essentiels d'un projet de CET de définir, entre autres:

- La division pertinente du site d'enfouissement en différents casiers/alvéoles hydrauliquement indépendants les uns des autres ;
- La conception des appuis pour les conduites de lixiviats ;
- La conception des passages des conduites de lixiviats à travers l'étanchéité ;
- La disposition et la structure des regards de contrôle des lixiviats ;
- Le dimensionnement des conduites de lixiviats (*calcul de structure des tuyaux*) ;
- Les calculs de stabilité du ou des casier(s) et de ses flancs et des talus éventuels ;
- Le calcul du volume de lixiviats ;
- Le dimensionnement (*taille*) des bassins de rétention des lixiviats ;
- Le traitement des lixiviats ;
- Le calcul prévisionnel du volume des biogaz ;
- L'étude du système de dégazage ;
- Le traitement des biogaz ;
- La planification des voies d'accès aux et à l'intérieur des différents casiers ainsi que l'ensemble des infrastructures (*routes d'accès, dispositifs d'approvisionnement et d'élimination/traitement, bâtiments, voies d'exploitation et assainissement des eaux de surface également désignées par eaux superficielles*).
- Elaboration de la version provisoire du PAQ ;
- Pour le DAO : des instructions aux soumissionnaires, du CCAG, CCAP, du CCTG, du CCTP, du BPU et du DEQ

L'ENTREPRISE DE RÉALISATION

L'entreprise de réalisation est la personne physique ou morale chargée de la réalisation proprement dite de l'ouvrage sur la base des plans et documents du maître de l'œuvre. Elle doit posséder toutes les qualifications, les connaissances, le personnel et les équipements nécessaires pour une réalisation conforme aux règles de l'art de l'ouvrage. Elle doit travailler en étroite coordination avec l'entreprise ou les personnes chargées du suivi. Elle doit aussi mettre en place toutes les mesures de contrôle interne afin d'assurer une qualité de travail adéquate.

L'ENTREPRISE CHARGÉE DU SUIVI DES TRAVAUX

L'entreprise chargée du suivi des travaux est la personne physique ou morale qui a en charge le contrôle et le suivi de la réalisation sur terrain des travaux de construction. Souvent l'entreprise chargée du suivi est la même entreprise ou le même bureau que celui chargé de la maîtrise d'œuvre. De grandes entreprises possèdent un département études et maîtrise d'œuvre et un département chargé du suivi avec un personnel plus spécifique.

³ Pas nécessairement la même que la maîtrise d'œuvre

Récapitulatif : L'entreprise de suivi des travaux**Direction du chantier**

- Organisation et direction des réunions de chantier
- Etablissement des comptes rendus et diffusion
- Etablissement des ordres de service
- Etat d'avancement général des travaux à partir du planning général
- Information du maître d'ouvrage : avancement, dépenses et évolutions notables
- Contrôle de la conformité de la réalisation
- Examen des documents complémentaires à produire par les entreprises, en application de leur contrat
- Conformité aux prescriptions des contrats - Etablissement de comptes rendus d'observation

Gestion financière

- Vérification des décomptes mensuels et finaux - Etablissement des états d'acomptes
- Examen des devis de travaux modificatifs et mémoires en réclamation
- Bien-fondé technique
- Examen matériel et économique
- Etablissement du décompte général
- Elément de mission Tâches à effectuer par élément de mission
- Direction de l'exécution des contrats de travaux

LE GESTIONNAIRE DU SITE

En Algérie, la gestion du site est confiée à une Entreprise Publique à Caractère Industrielle et Commerciale (EPIC). Elles ont été créées par décret souvent après la réalisation d'un premier CET dans leur Wilaya respective.

Les figures suivantes présentent les relations des différents intervenants actuellement dans la réalisation d'un projet de CET en Algérie, les premiers CET étant réalisés pour le compte de l'autorité suprême en matière d'environnement (*Ministère*) ou par le biais de sa structure décentralisée (*Direction de l'Environnement de Wilaya*).

Le maître de l'ouvrage des premiers CET en Algérie était le ministère de l'Environnement lui-même ou la Direction de l'environnement de wilaya (*sous-tutelle régionale*)

Le maître de l'ouvrage des premiers CET **en Algérie** était le ministère de l'Environnement lui-même ou la Direction de l'environnement de wilaya (*sous-tutelle régionale*)

Une fois que le CET réalisé, il a été transféré à une EPIC de wilaya chargée de son exploitation. La tendance actuelle semble confier un plus grand rôle à ces EPICs surtout lorsqu'il s'agit d'une extension de site. Les nouveaux projets restant encore sous la tutelle du ministère. Néanmoins, **la maîtrise d'ouvrage déléguée** a été confiée à l'Agence nationale des déchets, institution sous tutelle du ministère doté de compétence technique.

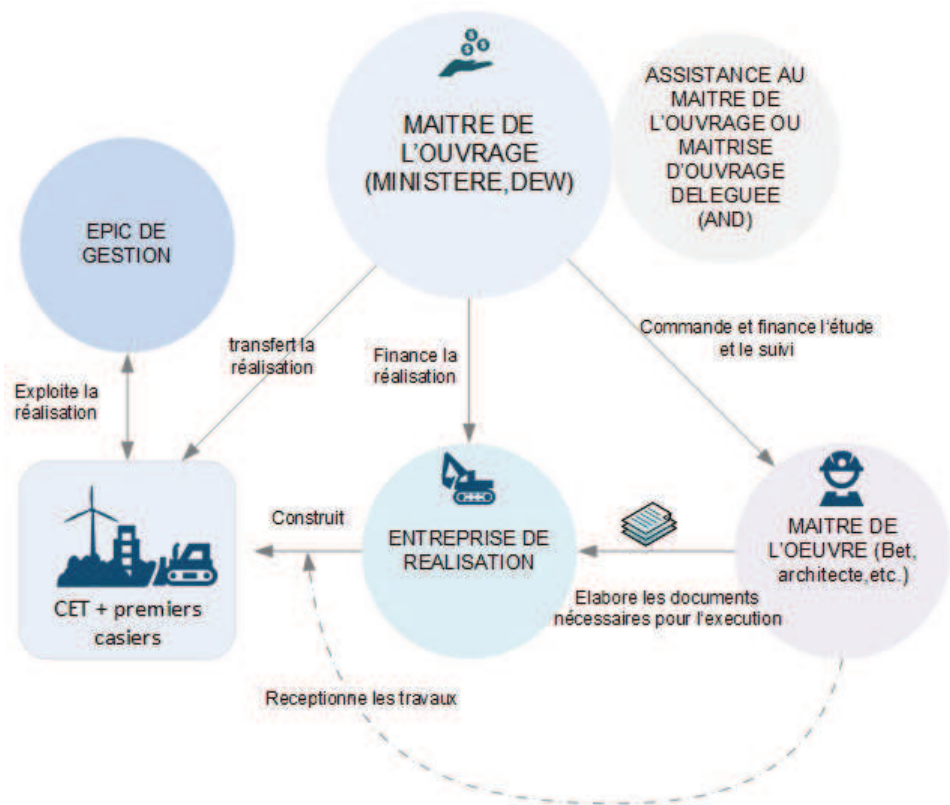


Figure 8: Intervenants dans la réalisation de CET (situation actuelle) [1]

L'objectif dans les prochaines années est de transférer et d'accorder plus de responsabilités aux EPICs de gestion afin d'acquérir plus d'autonomie financière et de gestion.

Ci-dessous est présenté le schéma d'intervention prévu à moyen terme

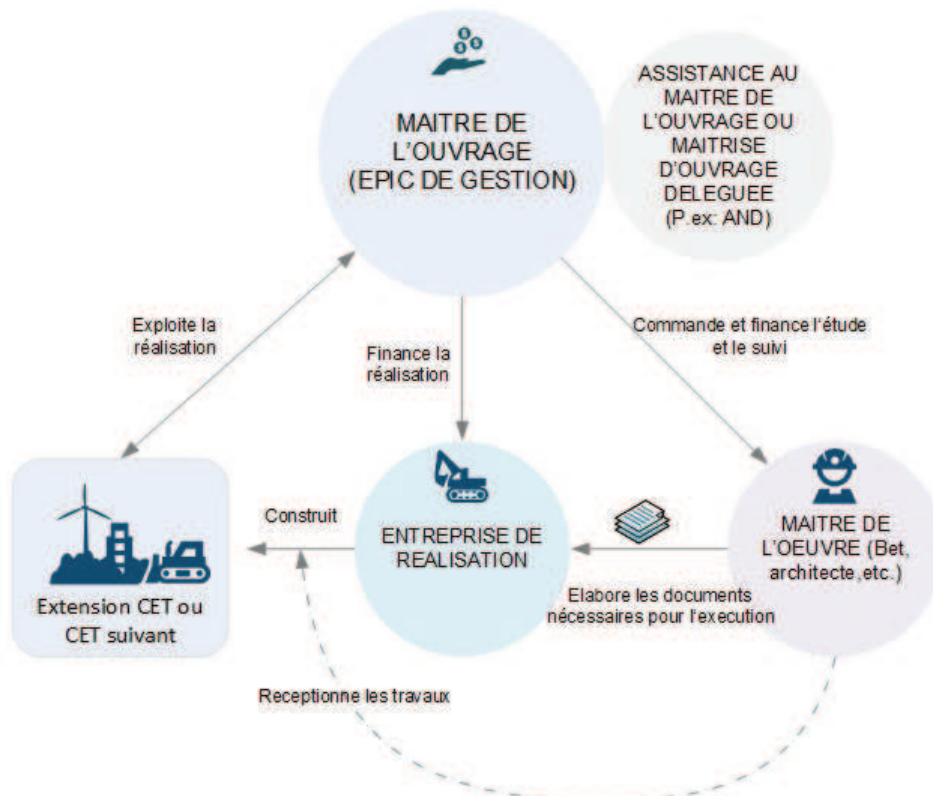


Figure 9: Intervenants dans la réalisation de CET (situation future)

PARTIE II

ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

PARTIE II

ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

LES ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

DÉFINITION DES BESOINS

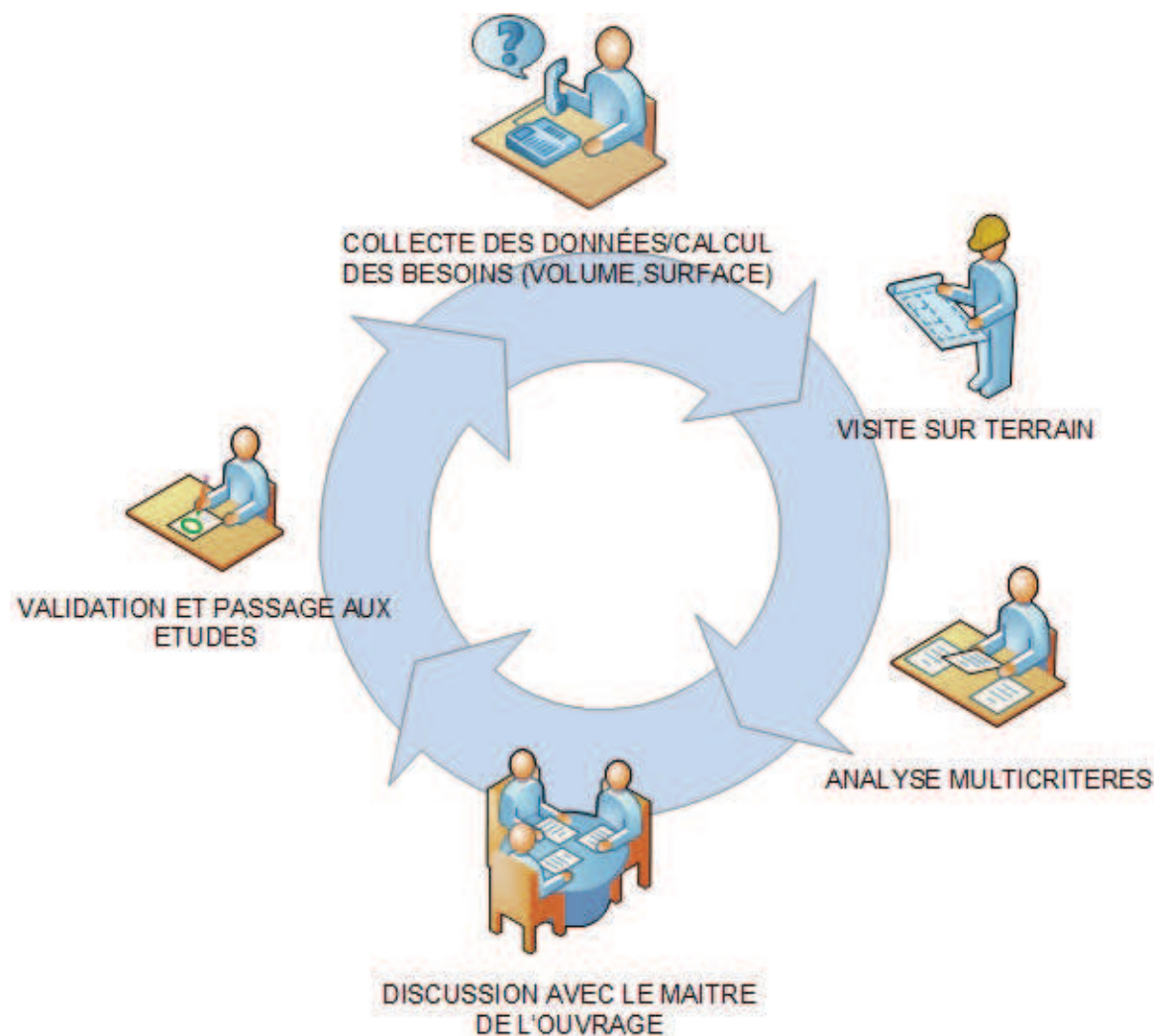


Figure 10: Procédure pour le choix du site [1]

La réalisation d'un Centre d'enfouissement technique est **une nécessité dans la gestion moderne des déchets** car malgré les techniques de valorisation (*recyclage, tri, etc.*) et d'élimination (*incinération*) utilisées, il restera toujours un résidu (*qu'il soit ultime ou non*) à enfouir.

Le choix du site répond toujours à des contraintes soit d'ordre écologique, politique ou autre mais

- La réalisation de CET devient indispensable car il présente non seulement une alternative économique par rapport aux autres types de traitement mais une nécessité afin d'éviter un déchargement sauvage dans la nature.

Néanmoins, la réalisation d'un CET devra toujours se faire selon des critères économiques.

Le premier paramètre définissant les étapes suivantes étant **la durée de vie** :

Un CET peut être considéré comme économique s'il possède une durée de vie de min. 15 années. Ceci n'est pas une règle mais une orientation pratique pour la définition des besoins en surface ou en volume.

C'est sur cette base que les prochaines étapes de planification peuvent être engagées. Par la durée de vie, la surface nécessaire du site peut être définie au préalable.

Donc les première étapes à entreprendre par le maître d'œuvre sera de définir la zone d'influence du CET (les communes ou wilayas desservies) ainsi que la quantité de déchets ménagers ou assimilés à sur le CET (à enfouir). Certains paramètres sont fixes et peuvent être retrouvés dans la documentation disponible, d'autres sont variables et sont aussi souvent donnés par les études disponibles. D'autres paramètres devront être estimés par le maître d'œuvre.



Figure 11: Détermination de la surface du site en fonction de la durée de vie [1]

Les premiers éléments d'appréciation se trouveront donc **dans le schéma directeur de gestion des déchets de la zone d'étude du projet** (si existant) ou à travers des prévisions que le BET devra effectuer par lui-même.

Première étape : Estimation des déchets à enfouir = surface minimale recommandée du site

Pour ce premier calcul, il est recommandé au BET de préparer un tableau Excel® sous la forme ci-dessous.

Le tableau servira à déterminer la première estimation du volume à enfouir pour une durée de vie choisie par le BET en concertation avec le maître de l'ouvrage :

- Durée de vie minimale : 15 ans
- Durée de vie raisonnable : 25 ans
- Durée de vie optimale : > 25 ans

Une fois le volume d'enfouissement en fonction de la durée de vie calculé, la surface du casier/du lieu d'enfouissement peut être déterminée sous deux façons :

Première variante (*rapide mais grossière et donc peu recommandée*) :

Surface du casier/du lieu d'enfouissement [m²] = Volume d'enfouissement [m³] / hauteur moyenne [m]

La hauteur moyenne peut être choisie de manière variable pour faire ressortir les différentes options

La hauteur moyenne devrait être choisie ≥ 15 m (*ensuite 16, 17, etc.*)

Deuxième variante : par la formule du tronc de pyramide.

La formule est la suivante

$$V = h/3 * (A_1 + \sqrt{(A_1 \times A_2)} + A_2)$$

V = Volume d'enfouissement [m³]

h = hauteur du casier [m]

A₁ = Surface de la base du casier [m²]

A₂ = Surface du haut de casier

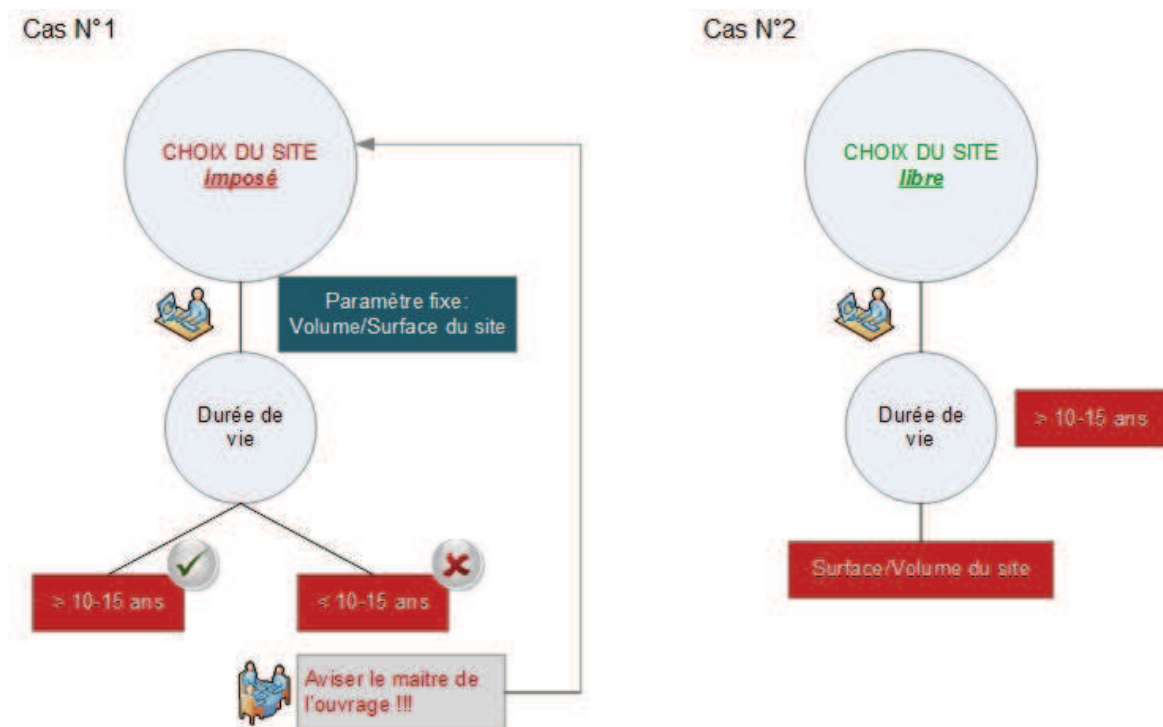
Cette formule est une formule itérative car elle présente plusieurs inconnus que le BET devra choisir (*hauteur des déchets, surface de base, etc.*) mais avec le choix des pentes du talus, la formule peut être simplifiée et le nombre d'inconnus peut être réduit à 2 (*surface de base = a x b*). Ici l'élaboration d'un deuxième tableau Excel peut s'avérer avantageux.

Année	Habitants	Qté de déchets	Qté de déchets	Qté de déchets à enfouir
	Hab.	kg/hab./an	t/an	t/an
	[1]	[2]	$[3] = [1] \times [2] / 1.000$	$[4] = [3] * Ta [\%]$
				Ta = 100 – taux de récupération [%]
20XX				
20XX+1				
etc				

Tableau 3: Tableau Excel pour le calcul du volume d'enfouissement

LE CHOIX DU SITE

Après avoir évalué les déchets à enfouir et, par conséquent, défini la durée de vie et les capacités du futur CET, conformément aux plans communaux ou régionaux de gestion et d'élimination des déchets solides, il faut donc procéder à un choix de l'emplacement.



Ici les expériences pratiques ont montré deux cas possibles :

Figure 12: Cas pour le choix du site [1]

Premier cas : un site est déjà imposé par le maître de l'ouvrage (*pour des raisons de fonciers ou autres*) alors si les calculs préliminaires démontrent que le site ne suffit pas pour une durée minimale, il sera alors nécessaire au BET d'aviser le maître de l'ouvrage que le site n'est pas économiquement viable afin de proposer des alternatives.

Densité de compactage	Volume net des déchets	Volume des couvertures	Volume brut nécessaire	Cumul
t/m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
[5] = entre 0,8-1,2 (au choix du BET)	[6] = [4]/[5]	[7] = [6] x VC [%]	8] = [7] + [6]	Σ [8]20XX
		VC entre 10 à 30 % (au choix du BET)		Somme des volumes de l'année au cumul précédent

Le deuxième cas, et le plus probable, c'est que le BET est aussi chargé d'effectuer un choix de site sur la base des critères économiques, techniques, et écologique.

A cet effet, la procuration des documents suivants est indispensable :

- Des documents cartographiques (*liste non exhaustive*) :
 - o Cartes topographiques
 - o Cartes géologiques
 - o Carte d'occupation du sol,
 - o Carte pédologique,
 - o Carte de stabilité des versants
 - o Carte hydrologique : cours d'eau, eaux de baignade, eaux souterraines etc.
 - o Carte des sites habités : agglomération, densité, répartition populaire
 - o Carte des zones agricoles
 - o Cartes routières
- Des études particulières (*si disponible*) :
 - o Études des périmètres de protection des captages pour l'alimentation en eau potable
 - o Études des milieux
- Des photographies aériennes (*si disponible*)
- Des documents d'urbanisme
- D'autres études disponibles concernant la gestion des déchets dans cette région.

Géologie, hydrogéologie

Les conditions géologiques et hydrogéologiques d'un site d'enfouissement (*potentiel*) doivent être suffisamment connues pour pouvoir garantir que le site retenu sera approprié au projet envisagé, que le système d'étanchéité de base et que l'emplacement des puits d'observation des eaux souterraines seront correctement déterminés.

Pour pouvoir apprécier la géologie et l'hydrogéologie du site, il convient d'évaluer les informations disponibles et de prévoir les mesures énumérées ci-après.

- Géologie et hydrogéologie de la région concernée
- Cartes géologiques et hydrologiques régionales
- Photos/levés des puits existant à proximité du site
- Photos/levés des stations de jaugeage des eaux souterraines (*piézomètres*) existant éventuellement dans la région
- Photos/levés de tous les cours d'eau, lacs etc. de la région

Toutes ces informations peuvent être obtenues auprès de l'ANB et/ou de l'ANRH.

La première approche doit donc permettre aux responsables par une analyse multicritères de cibler les sites possibles et d'éliminer ainsi que ceux qui ne conviennent pas.

Cette analyse sera basée en premier lieu sur l'exclusion de sites par des critères dits «**fatals**» tels que :

- Les zones militaires d'exclusion ;
- Les parcs nationaux ;
- Les zones naturelles protégées et les domaines forestiers ;
- Les zones, dont la distance entre les limites du site et les zones d'habitation le plus proche, est inférieure à deux cents (200) mètres ;
- Les zones, dont la distance entre les limites du site et les zones de protection du patrimoine naturel ou culturel, est inférieure à deux cents (200) mètres ;
- Les zones, dont la distance à un aéroport, est inférieure à 5 km ;
- Les zones où existent des puits, des gouffres ou des galeries souterraines ;
- Les marécages.
- Les périmètres de protection du domaine public hydraulique

Après l'exclusion des sites à critères «**fatals**», l'ingénieur responsable peut, par une superposition des différentes cartes thématiques (voir Figure 13: *Analyse multicritères*), restreindre son choix à l'aide de différents critères de sélection.

Les critères de sélection sont par exemple :

- La nature et les caractéristiques du substratum géologique
- La proximité de cours d'eau et de nappes phréatiques
- La sensibilité des paysages et des milieux naturels
- La proximité des habitations et des riverains
- L'espace libre
- La topographie, etc.

Recommandation

La mise en priorité de certains critères de sélection par rapport à d'autres est laissée à la subjectivité de l'ingénieur, néanmoins, il doit respecter les aspects majeurs qui sont la protection de la population contre toutes nuisances ainsi que le respect et la protection de l'environnement et en respectant les exigences formulées dans la législation en vigueur (*loi sur la gestion des déchets, loi sur l'eau, etc.*)

Outre les dispositions générales et particulières en matière de protection de l'environnement prévues par les lois et règlements en vigueur, tout choix de site est soumis à autorisation du wali.

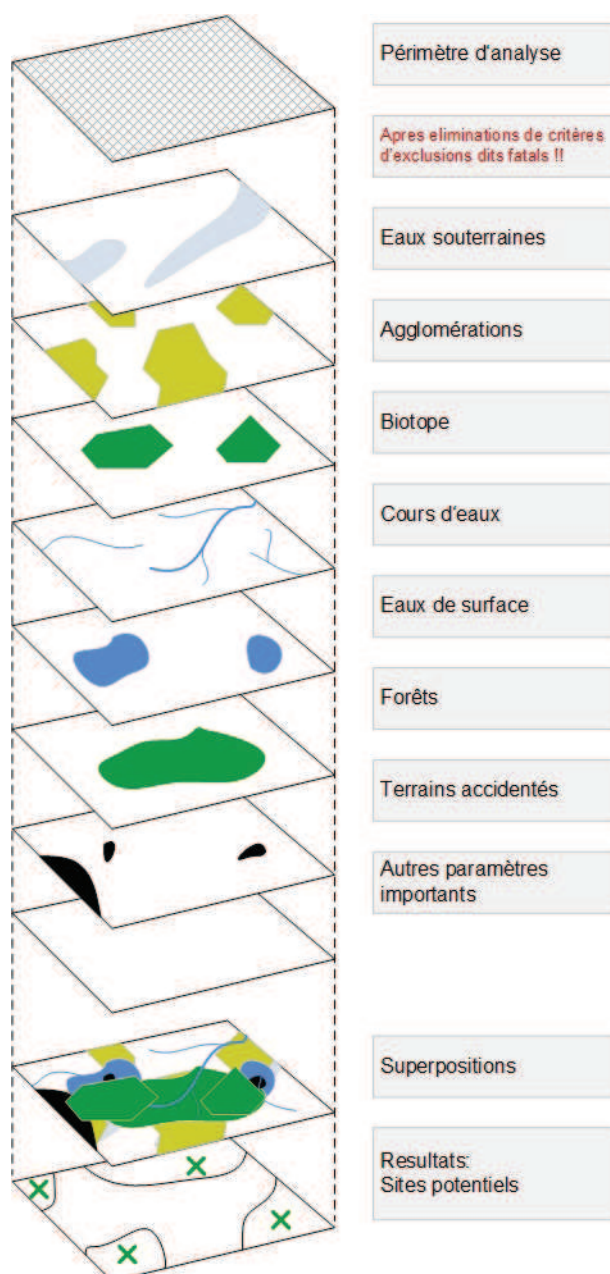


Figure 13: Analyse multicritères [1]

Après avoir fait le choix préalable et après avoir restreint le choix des sites potentiels, une visite d'observation sur les terrains permettra aux responsables de repérer et d'acquérir de nouvelles données afin de cibler le plus possible leur choix pour trouver l'emplacement idéal du nouveau centre d'enfouissement technique.

Ces nouvelles données peuvent être :

- La superficie du site
- Les contraintes topographique et géologique
- L'occupation des parcelles voisines
- La nature de la végétation environnante
- L'intégration paysagère
- La visibilité du site
- La proximité d'éventuels secteurs d'activité ou d'endroits susceptibles d'avoir un impact sur le milieu
- Les voies de desserte
- L'infrastructure environnante existante (*électricité, eau potable, énergie*)

Pour un meilleur soutien l'élaboration d'une fiche d'enquête ou checklist est recommandée. A l'aide d'un système notation et de pondération, les différents sites peuvent être classés et évalués.

Recommandation

La visite sur le terrain est indispensable pour le choix et la conception d'un site. Elle permet non seulement de mieux cerner les contraintes non visibles sur les cartes et les documents, mais aussi de mieux orienter dans la conception du site (*voies d'accès, bâtiments d'accueil, zone de casier*)

Exemple de site retenus pour la réalisation de CET en Algérie



Site de Soumaa . Blida

Superficie 12 ha
Terrain très accidenté
Ancienne carrière de tuff
Terrain à majorité argileuse



Site de Ben Badis . Constantine

Superficie 50 ha
40 km (!) du chef-lieu
Sol argileux avec de forte bande de grès rocheux



Site de Mila

Superficie 21 ha

Limité par des talwegs

Le site ne présente pas de difficultés particulières



Site d'Oum El Bouaghi

Superficie de 25 ha

Terrain très peu accidenté

Sol perméable (*étanchéité passive nécessaire*)



Site de Khenchela

Superficie de 99 ha (!)

Terrain semi-perméable

Argile disponible à proximité

Terrain accidenté



Site de Saïda

Superficie 31 ha

Terrain semi-perméable

Site abritant décharge actuelle

Remarques

Il n'existe pas de site type, mais il y a certaines recommandations/orientations pour un site économiquement viable:

« La règle des 15 » :

- Min. 15 ha
- Min 15 ans de durée de vie
- Pour min 15 m de hauteur de déchets

La géologie et la topographie du site permettent de déterminer :

- Le type d'étanchéité du casier
- La forme du casier
- La première zone de casier

Après la visite du ou des terrains, un ou plusieurs sites potentiels seront retenus. Ces sites potentiels devront être présentés aux décideurs politiques (*Wali, élus locaux, maître de l'ouvrage*) pour le choix final.

Ce site devra être soumis par la suite (*en parallèle à l'APS*) à une étude d'impact environnementale (*EIE*), une étude de danger (*EDD*) suivie d'une enquête publique. (*Voir aussi partie Etude complémentaire*).

APRÈS LE CHOIX DU SITE

Levé topographique

Pour assurer la réalisation correcte des avant-projets (*APS et APD*), il convient d'effectuer au préalable un levé du terrain, numérique (*et de préférence tridimensionnel*), du site d'enfouissement prévu (*coordonnées x, y, z avec trois chiffres après la virgule*), en se référant dans ce contexte à un système géodésique défini (*Lambert, UTM ou un autre système de coordonnées applicable en Algérie*).

Ce levé devra intégrer les points suivants:

- Côtes supérieure et inférieure des talus (appelées lignes de rupture)
- Pistes, routes
- Puits existants, entrées et vannes
- Bâtiments, clôtures, portails, poteaux existant (*mâts électriques ou lignes téléphoniques, par exemple*)
- Arbres, arbustes, limites des zones couvertes de végétation
- Puits d'observation des eaux souterraines (*surface du puits et côte fil ou niveau d'eau*)
- Bornes
- Cours d'eau et étendues d'eau (*avec cote du niveau de l'eau*)
- Tranchées/forages (*de reconnaissance/prospection de gisements de minéraux et minerais*)
- Forages
- Conduites et lignes: pour électricité, gaz, téléphone, eau potable, eaux usées, eaux pluviales, lixiviats etc.
- Si une ancienne décharge existe déjà sur le site, les limites de cette zone de déchargement doivent également être levées.

Le quadrillage topographique recommandé est de 25 m x 25 m. Les mailles de cette grille peuvent être élargies (*par exemple 30 x 30 m*) que si le terrain est très plat avec des pentes uniformes.

ÉTUDES GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Les analyses et observations effectuées sur le site ont pour objectif de préciser les connaissances générales acquises sur la base des cartes géologiques, de déterminer le niveau de la nappe aquifère et le sens de l'écoulement de la nappe en dégagant des informations sur la présence ou non d'une barrière géologique et de matériaux susceptibles de servir pour la réalisation d'une couche d'étanchéité minérale. Dans ce contexte, il faut également analyser la capacité portante du substratum afin de pouvoir calculer les phénomènes de tassement susceptibles de se produire à la base du casier sous le poids élevé des déchets qui y seront enfouis. Les principaux moyens permettant d'obtenir ces connaissances sont les suivants:

Fouilles à la pelle : Il s'agit en l'occurrence du moyen le plus simple et le moins coûteux pour obtenir des informations sur les formations géologiques qui affleurent (*profondeur max. 5 m*). Dans ces fouilles, on peut prélever des échantillons de sol et de roches qui sont ensuite soumis à des essais géotechniques (distribution granulométrique, teneur en eau et limites d'Atterberg pour les sols cohérents (*classement des sols en fonction de leur consistance ou de leur état compte tenu de leur teneur en eau*) et détermination de leur emploi potentiel en tant que matériaux d'étanchéité).

Sondages par battage au moyen d'une sonde lourde : La réalisation de sondages est elle aussi un moyen rapide et relativement peu coûteux pour l'obtention de connaissances à une profondeur d'environ 10 m. En fonction du type de sonde de battage utilisé, le diamètre des trous de sondage peut atteindre 80 mm. Par ces sondages, il est possible de prélever des échantillons remaniés pour les soumettre aux analyses précitées. En outre, de tels sondages permettent une analyse de la consistance des différentes couches de sol et de roches.

Forages : Les forages peuvent être réalisés sous forme de simple puits au moyen d'une tarière ou sous forme de puits tubés. La méthode doit être retenue en fonction du type de roche et de la profondeur de forage nécessaire. Dans les puits de forage, il est également possible de prélever des échantillons et de les analyser. Par ailleurs, dans le cadre de la réalisation de puits de forage, il convient de réaliser des essais de pénétration

standard (« **Standard Penetration Test** »), conformément aux normes nationales ou internationales en vigueur, qui permettront de déterminer la consistance des sols et des roches à grandes profondeurs.

Essais de pompage : En cas de présence d'eau souterraine dans les sondages ou puits de forage, des essais de pompage permettront de déterminer la perméabilité du substratum. La réalisation d'un essai de pompage doit s'effectuer conformément normes en vigueur (*nationales ou à défaut internationales*).

S'il est avéré que le site choisi se trouve dans une zone où la nappe souterraine est proche, il est recommandé de procéder directement à l'aménagement d'un système d'observation (*tubes piézométriques*).

Ce système fera partie intégrante du CET. L'emplacement des forages de reconnaissance doit être sélectionné de manière à ce qu'ils puissent être utilisés ultérieurement lors de l'aménagement du site. Ils doivent permettre la prise d'échantillons d'eau souterraine et devront être équipés pour un raccordement des pompes d'au moins 4 à 5 pouces, en fonction de la profondeur. Le diamètre du forage doit être sélectionné en conséquent.

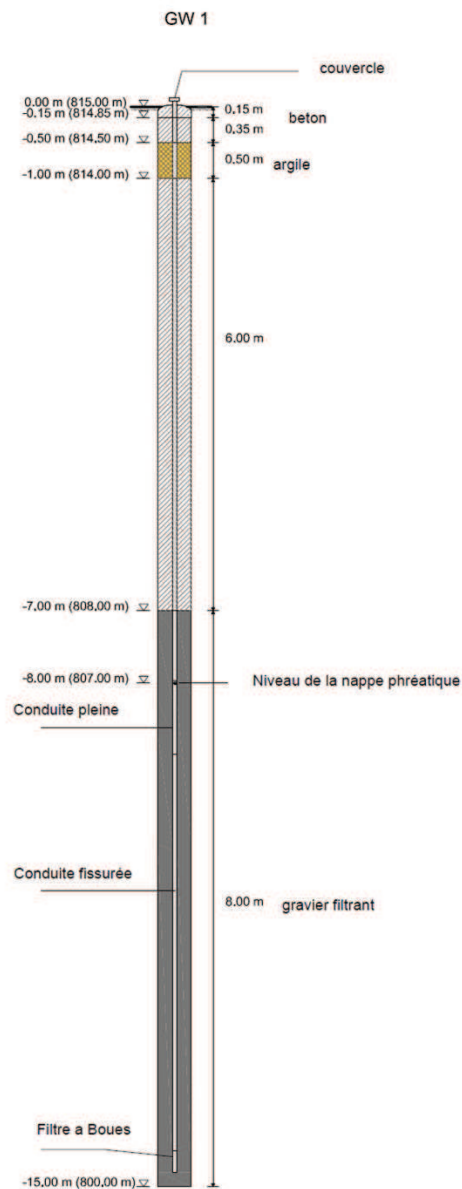


Figure 14: schéma type d'un piézomètre [1]

L'objectif de ces investigations est de parvenir à définir de la manière la plus précise la situation géologique et hydrogéologique du site. Elles permettent de déterminer la présence et la nature d'une barrière géologique naturelle et/ou d'éventuelles zones d'emprunt de matériaux d'étanchéité pouvant servir de couche minérale.

Les résultats obtenus doivent comporter les informations suivantes:

- Informations générales sur la/les formations géologiques sur le site
- Types de sols et de roches (*classe, caractérisation*)
- Niveau de la nappe phréatique
- Sens de l'écoulement de la nappe
- Couche aquifère: type, profondeur, emplacement
- Fluctuations saisonnières du niveau de la nappe
- Importance de l'aquifère pour l'approvisionnement en eau potable ou en eau d'irrigation
- Existence ou absence d'une barrière géologique
- Existence ou absence de sols susceptibles d'être utilisés en tant que matériaux d'étanchéité.

ÉTUDES GÉOTECHNIQUES

Hormis les conditions géologiques et hydrogéologiques, il est opportun de procéder directement à une évaluation des conditions géotechniques *in situ*, étant donné que fouilles, sondages et forage sont également requis pour la réalisation de l'étude géotechnique. L'étude géotechnique réalisée dans ce contexte devra fournir les résultats suivants :

- Description et illustration de la structure du substratum (*du point de vue géotechnique, permettant par exemple de déterminer la capacité portante du sous-sol*)
- Présence et convenance de couches de sols naturels permettant d'assurer une étanchéité (*épaisseur, profondeur, homogénéité de l'horizon, perméabilité, capacité d'absorption*)
- Stabilité des talus naturels et artificiels
- Capacité portante et comportement aux déformations du sous-sol
- Présence de failles, de dépressions (*affaissements de terrain*), risques de glissement de terrain et situation sismique
- Remarques sur les mesures géotechniques nécessaires.

HYDROLOGIE

Tout aménagement d'un CET entraîne des répercussions sur la situation hydrologique naturelle du site. Le casier du CET peut en effet empêcher ou totalement bloquer l'écoulement des eaux superficielles qui tombent en amont du site. Le revêtement de nombreuses surfaces sur et à proximité du site (*routes, parkings, toits de bâtiments*) et l'étanchéité des futurs casiers, encore vides de déchets, se traduit par une accumulation d'eaux superficielles non polluées. Il est par conséquent indispensable de déterminer les mesures qui devront être prises pour assurer un écoulement non perturbé des eaux superficielles en provenance des zones situées en amont et du site même, afin d'éviter les risques d'inondations à l'aval.

Les investigations hydrologiques sur le terrain ont donc entre autres pour objectif de définir les limites du bassin versant du site du CET

- Déterminer les ruisseaux, fleuves, fossés qui permettent un écoulement des eaux de pluie à proximité du site et qui peuvent servir d'exutoire aux eaux superficielles et aux eaux usées épurées en provenance du CET.
- Constater la présence d'eaux stagnantes à proximité du site,
- Collecter les données pluviométriques dans la région du projet

MÉTÉOROLOGIE

Pour le dimensionnement du système de traitement des eaux (*fossés, bassins de rétention, traitement de lixiviats*), il est nécessaire de disposer des données suivantes:

En outre, il est également important (*par exemple pour l'EIE*) de disposer d'informations supplémentaires, telles la direction et la force des vents dominants et enfin, des informations sur la moyenne du système d'hygrométrie mensuel, le nombre de jours des chutes de neige (*en montagne*) etc., permettront de compléter les données météorologiques indiquées ci-dessus.

Les données climatiques peuvent être procurées au niveau de l'Office national de la météorologie ou au niveau des stations météorologiques locales (*si existante*).

Données	Période
Précipitations, évaporation et humidité de l'air, températures (<i>min./max.</i>)	Moyennes mensuelles (<i>des 20 dernières années, par exemple</i>)
Précipitations, évaporation et humidité de l'air, températures (<i>min./max.</i>)	Données mensuelles maximales (<i>des 20 dernières années, par exemple</i>)
Précipitations	Données journalières maximales (<i>des 20 dernières années, par exemple</i>)

Pour les prévisions futures, le CET devrait être équipé d'une station météorologique (*voir chapitre équipement*) permettant l'enregistrement des paramètres suivants:

- Précipitations (*lecture journalière ou enregistrement automatique*)
- Température de l'air (*lecture journalière du minimum et maximum ou enregistrement automatique*)
- Direction du vent (*enregistrement automatique*)
- Vitesse du vent (*enregistrement automatique*)
- Pression atmosphérique (*lecture journalière ou enregistrement automatique*)
- Humidité relative de l'air ou évaporation (*lecture journalière ou enregistrement automatique*).

La présence d'une station météorologique enregistrant ces paramètres de manière automatique constitue un avantage important. L'évaluation de ces données de manière fiable est toutefois le critère essentiel à respecter.

BASE DE PLANIFICATION ET DE DIMENSIONNEMENT

PRINCIPE DE BASE

Le BET doit d'ores et déjà se mettre dans la situation de l'exploitant pour avoir une idée sur le développement total du site (*optimisation des surfaces, phasage, extension du site, agencement des bâtiments*). La figure suivante présente une méthodologie chronologique des étapes pour la préparation de l'APS.



Figure 15: Méthodologie de base pour la préparation de l'APS [1]

Même si la première étape du projet consisterait de réaliser uniquement un seul casier, il est nécessaire d'avoir une idée globale sur le devenir et l'exploitation futur du site.

BASE DE LA PLANIFICATION DU CASIER

La zone d'enfouissement (*ou casier*) est l'élément central du CET. Il doit répondre, au-delà d'une durée de vie économique, aux 3 critères et exigences suivants :

- **Étanchéité** : pour éviter l'infiltration des nuisances dans le sous-sol
- **Drainage** : pour éviter une saturation d'eau à l'intérieur même du casier (*impact sur le volume d'enfouissement et le compactage*)
- **Stabilité** : pour éviter tout glissement ou rupture (*impact sur l'étanchéité, le drainage, la sécurité des travailleurs et de l'environnement immédiat*)

Car un Casier mal conçu et mal réalisés peut avoir les mêmes impacts sur l'environnement qu'une décharge illicite et sauvage.

TOPOGRAPHIE

Le choix du site et sa topographie est déterminant pour une bonne planification. Certains terrains s'apprêtent plus que d'autres pour la réalisation d'un CET.

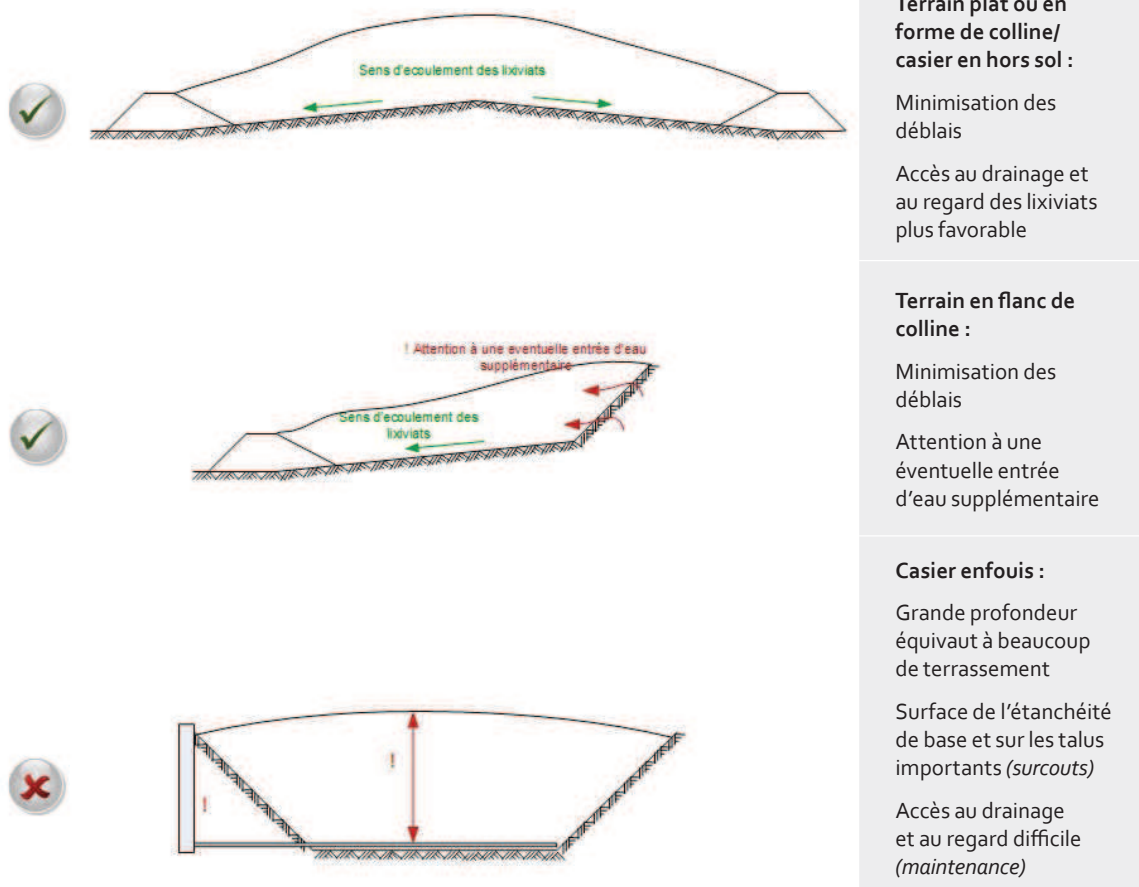


Figure 16: Choix du casier en fonction de la topographie [1]

Si la nappe phréatique ou la roche de fond sont proches de la surface, on creuse à une faible profondeur, et l'on construit un centre d'enfouissement technique presque entièrement en surface, qui nécessitera un plan de remplissage séquentiel particulier, ainsi que l'apport de terre venant de l'extérieur pour constituer les digues périphériques.

En relief accidenté, il est possible d'utiliser les pentes naturelles d'une vallée pour y construire le centre d'enfouissement technique. Il faudra cependant prêter une attention particulière aux problèmes de ruissellement et d'évacuation des eaux pluviales qui s'écoulent naturellement par cette vallée, et à la stabilité de la digue de front.

Donc une des mesures à envisager pour dimensionner des casiers économiques, c'est d'essayer de minimiser les terrassements (*déblais et remblais*)

LE PRINCIPE DES BARRIÈRES MULTIPLES

Afin d'empêcher que les CET deviennent des infrastructures similaires aux décharges sauvages, un système de protection important est à développer : Le principe des barrières ou à étanchéité multiples. Ce principe a pour objectif de réduire voire d'éviter tout impact sur le milieu naturel, même lorsque l'une des barrières est endommagée ou devient moins efficace.

Il existe deux types de barrières (*ou étanchéité*)

La barrière géologique ou également appelée «**étanchéité passive**». Elle doit présenter une haute capacité d'absorption et une faible perméabilité (*forte teneur en argile minérale du substratum en place ou par apports*). Les sites dont le substratum est caractérisé par des nappes aquifères peu développées et situées à grande profondeur se prêtent également bien en tant que barrière géologique.

Le système d'étanchéité de base, ou «**étanchéité active**» qui est un dispositif artificiel ayant pour objectif d'empêcher l'infiltration des substances polluantes dans le sous-sol.

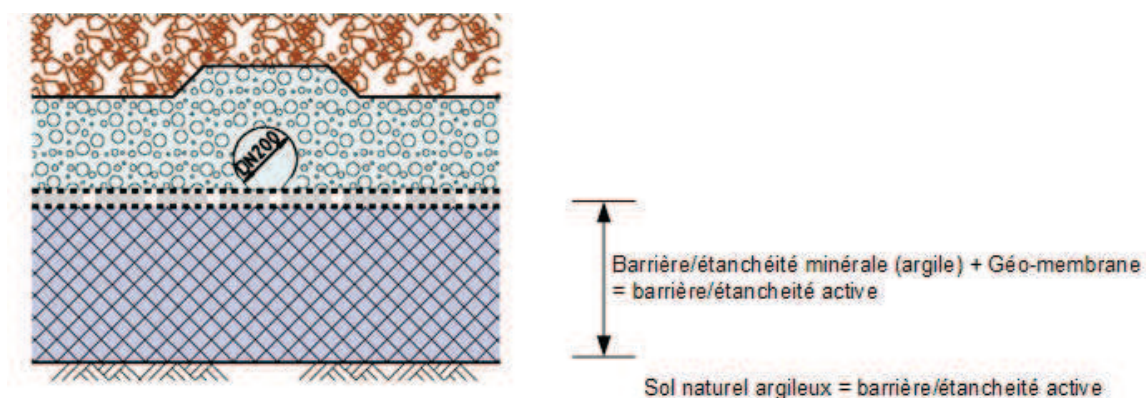


Figure 17: Etanchéité active et passive

EXPLOITATION DU SITE

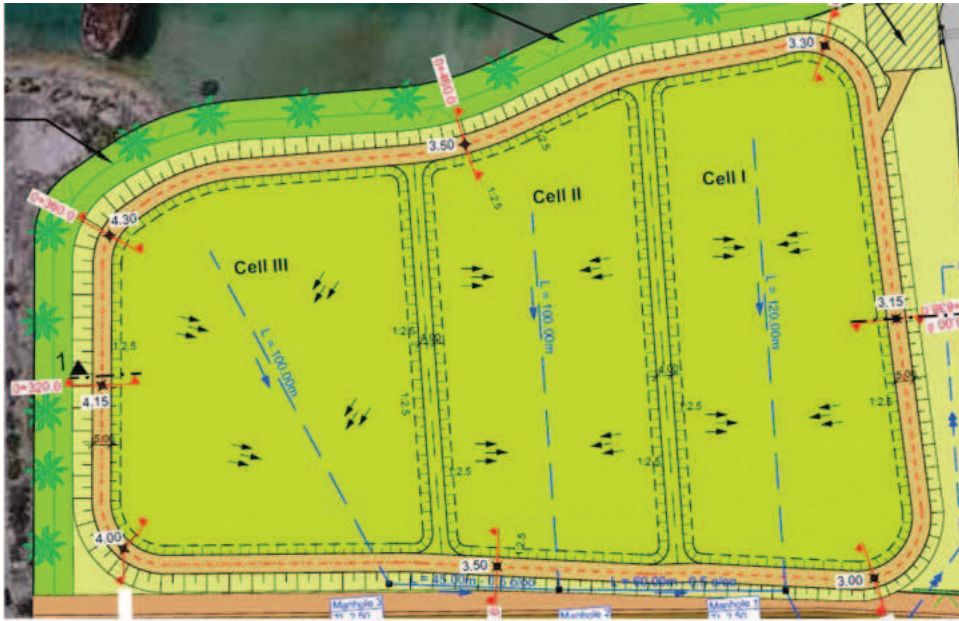
L'exploitation du site est aussi un facteur à succès pour éviter tout impact du milieu environnant. Un prétraitement éventuel des déchets avant enfouissement (*pour réduire leur teneur en eau, par exemple, ou pour inhiber les réactions possibles/formation de gaz d'enfouissement dans le casier*), le contrôle des déchets arrivants, l'exploitation du casier (*en alvéole, le recouvrement, le compactage*), la mise en place et l'exploitation des infrastructures de traitement (*biogaz, lixiviats*) constituent également des éléments importants et nécessaires à une gestion écologique du site.

Le BET chargé de la conception du site doit donc prévoir toutes les infrastructures nécessaires et les concevoir de telles façons à faciliter la réalisation technique et son exploitation par l'entreprise de gestion.

Les installations doivent être facilement réalisable, facilement accessible et le plus facile à maintenir.

Un CET est une installation évolutive et dynamique similaire à une carrière. Son élément central est la zone d'enfouissement qui doit évoluer dans le temps.

Les casiers à planifier doivent donc être considérés dans une optique d'une exploitation dynamique, en phase, du site. Un plan global du site en fin de vie et des plans présentant les différentes phases d'exploitation (**plan de phasage, à ne pas confondre avec le plan de remplissage**) doivent faire partie intégrante d'une bonne planification.



Vue en plan d'un casier avec phasage (*état initial*)



Vue en plan d'un casier avec phasage (*état final*)

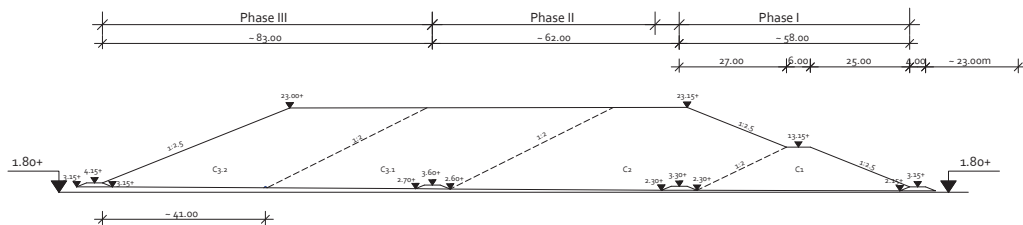


Figure 18: Exemple de casiers avec plans de phasage (en APS) [1]

Donc la base de toute planification et dimensionnement est :

- De planifier le CET complet jusqu'à sa fin de vie économique sur le site choisi
- De planifier les casiers du CET dans une perspective d'optimisation des espaces
- De planifier le phasage du CET dans une perspective d'optimisation de la gestion
- De réduire au maximum les travaux de terrassements (*déblais/remblais*)
- Tout en respectant les principes d'étanchéité, de drainage et de stabilité du casier

AVANT-PROJET SOMMAIRE

LES ÉLÉMENTS D'UN CET

Le CET est une installation (*classée*) conçue pour le stockage contrôlé de déchets en minimisant les risques de pollution ou contamination de l'environnement. Chaque installation se distingue selon la dangerosité des déchets stockés (*CET de classe 1, 2 ou 3*)

Le site est composé par les éléments suivants :

- Une zone d'accueil comprenant :
 - o Un pont bascule
 - o Un bâtiment administratif
 - o Un parking pour véhicule
 - o Un garage pour engins
 - o Un hangar de maintenance
 - o Des installations sanitaires, d'hygiène et de sécurité (*WC, vestiaires, réserve d'eau, etc.*)
- L'élément central : Une zone de service (*lieu de l'enfouissement*) délimitée en casiers (*chaque casier pouvant être partagé en alvéoles*)
- Une installation de récupération et de traitement des lixiviats (*conduites, drains et infrastructure de traitement/d'épuration*)
- Une installation de récupération et de traitement des biogaz (*en phase d'exploitation, avec conduite, des drains et une infrastructure de traitement*)
- Une clôture
- Des voies et réseaux divers (*eaux de pluies, assainissement, électricité, chauffage etc.*)
- Une zone d'emprunt ou de stockage des matériaux de recouvrement
- Un réseau de contrôle (*des eaux souterraines par exemple, piézomètre*)
- Des équipements d'exploitations (*matériel roulant, équipement de maintenance et de bureaux, etc.*)
- Des aménagements paysagers.

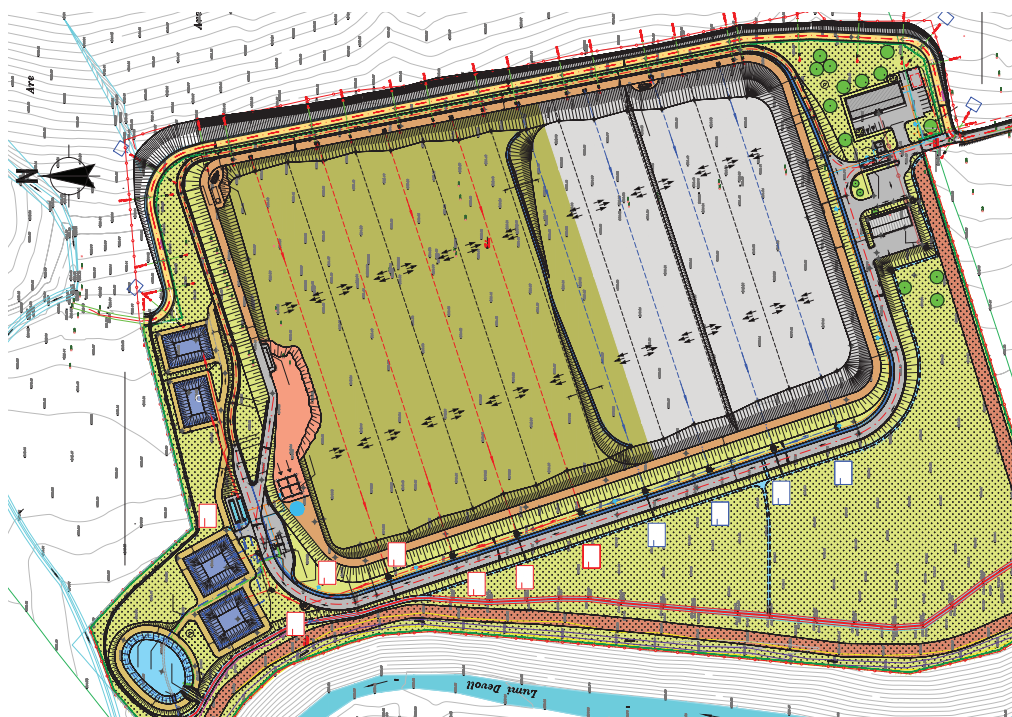


Figure 19: Plan d'un Centre d'enfouissement technique [1]

* Installation classée: Les installations et usines susceptibles de générer des risques ou des dangers et soumises à une législation et une réglementation particulières (protection de l'environnement, Sécurité etc.)

Selon la méthodologie de base présentée précédemment, la première étape de l'Avant-Projet Sommaire **est la délimitation du site par une clôture**. En délimitant le site attribué, le risque d'empiètement sur des terrains privés et par conséquent des efforts de ré-conception, peuvent être diminués.

La clôture a pour objectif principal de diminuer voire d'éviter toute intrusion illégale sur le site (*animaux errants, secteur informel*).

Elle doit être suffisamment haute (*min. 2,0-2,5 m*). Pour des raisons esthétiques et d'harmonie paysagère, **la clôture grillagée** (type Zimmermann) est le type le plus répandu et le plus recommandé. Mais de plus en plus, les panneaux grillagés renforcés font leur apparition. Ils ont l'avantage d'être plus solides pour un prix légèrement plus élevé. L'avantage des clôtures grillagées c'est de pouvoir y attacher des plantes grimpantes, ce qui contribue d'avantage à une inclusion paysagère du site.

Le choix du type et le dimensionnement de la clôture doivent donc répondre aux objectifs

- De délimitation du terrain (*la totalité du site actuellement attribué*)
- De sécurité (*éviter les intrusions illégales*)
- D'esthétique et d'insertion paysagère
- De maintenance (*facile à maintenir, robuste et difficilement dégradable*)
- Économique (*coûts*)

La réalisation de clôture en béton ou en brique possède, hormis de moins s'intégrer dans le paysage naturel, l'inconvénient des coûts importants qu'elle engendre (*en matière de réalisation mais aussi en matière de réparation et d'entretien*).

Les expériences ont démontré que la réalisation de clôture en béton ne diminue pas forcément le risque d'intrusions illégales ou de vandalisme. Bien au contraire une clôture trop « **voyante** » (*clôture en dur avec fils barbelés et parfois mirador*) peut plutôt attirer des intrusions illégales sur le site. Souvent ces clôtures ne contribuent pas à l'**intégration paysagère** du site en ne contribue pas à l'image de marque du CET.

La clôture referme souvent la totalité du site (*y inclus l'extension future*) et par conséquent, elle se trouve souvent loin des zones qui sont sous influence directe de l'administration. Des contrôles périodiques sont donc nécessaires afin de vérifier son état et de parer à d'éventuelles intrusions.

Le portail d'entrée est donc le premier niveau d'accueil du site. Il fait partie intégrante de la clôture et est souvent réalisé de la même manière et avec les mêmes éléments que la clôture elle-même (*portail en grillage pour les clôtures grillagées, portail métallique fermé pour les clôtures en béton*).

Si le portail se trouve en dehors de la zone d'influence de l'exploitation (*loin de l'administration*), alors il est recommandé de prévoir **un premier poste de contrôle et de sécurité** à ce niveau.

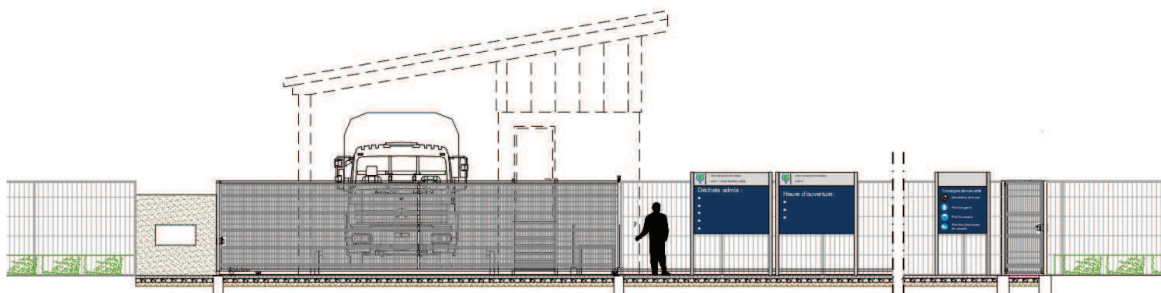


Figure 20: schéma d'un portail d'entrée avec clôture et poste de gardiennage (APS) [1]



Image 1: Clôture en panneau grillagé

CHOIX DE L'EMPLACEMENT DU CASIER

L'emplacement du casier doit se faire en fonction de la topographie du site, des éventuels espaces tampons (*clôture, espaces verts, voies de circulation*), de la zone de traitement des lixviats (*en contrebas du casier*) et des calculs préliminaires (*surface, durée de vie etc.*). C'est un processus itératif d'optimisation prenant en considération la compatibilité technique (*disponibilité des matériaux*) et financière.

Souvent, lors de la réalisation d'un premier projet de CET, la capacité du premier casier est définie à minimum 10 ans d'exploitation. La côte de fond du casier est définie par l'étude géologique et géotechnique du terrain (*études de sol*).

Sans études de sols au préalable, des erreurs de conception sont pratiquement garanties

FORME DES CASIERS

Pour la forme du casier, il est recommandé de privilégier des formes géométriques simples afin de :

- Faciliter la mise en œuvre du dispositif d'étanchéité
- Limiter les assemblages complexes (*géo-membrane*)
- Éviter la formation de plis (*géo-membrane*)

Tout en prenant compte de la forme initiale du site et de sa topographie.

TALUS

La pente des talus est liée à la qualité des matériaux du site. Elle doit être déterminée en tenant compte des règles de mécanique des sols : le talus doit être stable par lui-même et le dispositif d'étanchéité n'est là que pour assurer l'étanchéité de l'ouvrage.

Il faut prendre en compte les points suivants :

- La géométrie de l'ouvrage (*pentés, longueurs de rampants...*) ;
- La nature des matériaux du support et de la couche de protection ;
- Les caractéristiques mécaniques des différents éléments du dispositif d'étanchéité ;
- Les coefficients de frottement aux interfaces des différentes couches entre elles ;
- La nature des produits stockés ;
- Le mode d'exploitation de l'ouvrage

Bien que la mise en œuvre de la *géo-membrane* soit possible sur certains supports verticaux ou subverticaux (*talus rocheux, bétonnés ou maçonnés*), des sujétions de chantier font que, en règle générale, on préfère les placer sur les pentes comprises entre $2V/3H$ et $1V/2H$ ou plus faible. Ces pentes faibles sont destinées :

- À faciliter aussi bien la circulation du personnel que celle des engins ;
- À faciliter la réalisation des assemblages sur le site ;
- À faciliter la mise en œuvre de protection sur l'étanchéité ;
- À limiter les contraintes exercées sur l'étanchéité.

Dans le cas des casiers de CET où un système de drainage constitué de gravier est nécessaire sur les talus, des pentes du $1V/3H$ sont les règles de l'art.

Si la pente des talus est choisie plus raide, alors le système de drainage par gravier doit être obligatoirement remplacé par un *géo-drain* (voir chapitre suivant).

Une fois le casier défini dans sa forme, le système d'étanchéité peut être élaboré. Il peut être distingué en 3 structures :

- Structure support, (*barrière géologique ou l'étanchéité minérale*)
- Structure d'étanchéité, (*la *géo-membrane**)
- Structure de protection (*le géotextile et la couche drainante*)

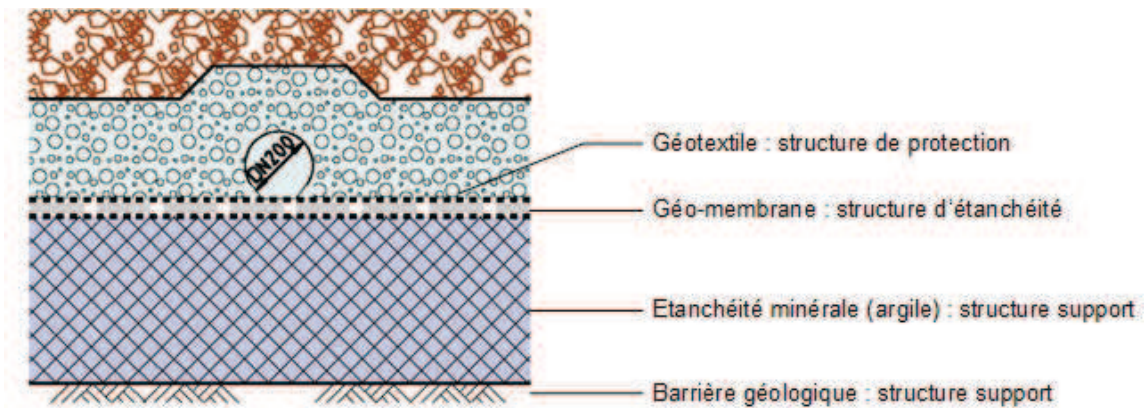


Figure 21: Système d'étanchéité: structures [1]

La structure support a pour fonction de protéger la structure d'étanchéité vis-à-vis des agressions mécaniques. Les matériaux qui la constituent doivent donc être eux-mêmes non-poinçonnants, exempts de végétation et doivent être compatibles chimiquement avec la structure d'étanchéité.

La structure support doit être stable par elle-même, à la fois lors des travaux de réalisation de l'ouvrage et pendant sa durée de service. Lors des travaux, le rôle de la structure support est de rendre possible ou de faciliter la mise en place de la géo-membrane.

Par la suite, durant l'exploitation et le fonctionnement de l'ouvrage concerné, la structure support doit répartir les efforts transmis en ne générant que des déformations acceptables par la géo-membrane (*les déformations induites ne doivent pas conduire à une baisse des performances d'étanchéité de la géo-membrane à court et à long terme*).

Le fond de forme avant pose de la géo-membrane doit être exempt de pierre cailloux pouvant entraîner une dégradation de la géo-membrane. La qualité du compactage et des matériaux utilisés peuvent amener à poser un géotextile de protection pour être conforme aux prescriptions du fournisseur de la géo-membrane.

SYSTÈMES D'ÉTANCHÉITÉ DE BASE

Le système d'étanchéité de base comprend différentes composantes qui, en interaction, assurent la sécurité du site d'enfouissement et la protection de l'environnement contre des risques potentiels. De bas en haut, ces composantes se présentent comme suit:

- Barrière géologique (*ou barrière passive*)
- Couche(s) d'étanchéité (*ou barrière active*)
- Et d'une couche de drainage

En fonction du type d'étanchéité et des déchets à enfouir, il peut s'avérer nécessaire d'ajouter des composantes supplémentaires permettant de protéger le système ou la couche de drainage. Les différentes composantes du système seront décrites aux chapitres suivants.

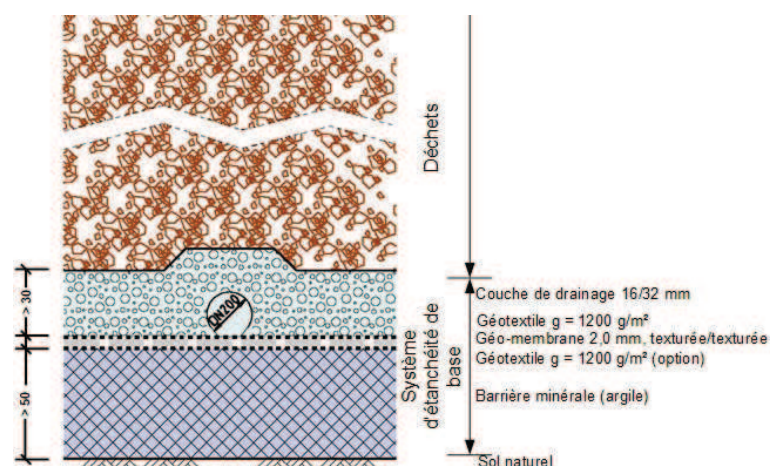


Figure 22: Exemple d'un système d'étanchéité de base

BARRIÈRE GÉOLOGIQUE

La présence d'une barrière géologique est déterminée par les conditions géologiques et hydrogéologiques du site. Le substratum doit présenter une capacité de rétention/atténuation suffisante ainsi qu'une faible perméabilité afin d'éviter des risques de pollution du sol et des eaux souterraines.

La base et les flancs du casier doivent être constitués d'une couche minérale répondant aux exigences de perméabilité et d'épaisseur d'une barrière géologique, caractérisée par un coefficient de perméabilité $k_f \leq 10^{-9}$ m/s (au laboratoire selon les normes européennes).

Dans les cas où la barrière géologique ne répond pas naturellement aux conditions précitées, elle peut être complétée artificiellement et renforcée par d'autres moyens offrant une protection équivalente. Une barrière géologique artificielle ne doit pas avoir moins de 0,5 m d'épaisseur et doit, elle aussi, présenter un coefficient de perméabilité $k \leq 10^{-9}$ m/s.

Applicabilité pratique: En général, aucune barrière géologique naturelle ne présente un coefficient de perméabilité aussi faible ($k_f \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s), sur un site présélectionné. Il est très rare en effet que les conditions géologiques répondent à une telle exigence. Il convient donc de manière générale de prévoir un dispositif de compensation sous la forme d'une couche d'étanchéité minérale (argile).

Donc la réalisation d'une couche d'étanchéité minérale comme barrière géologique/géotechnique artificielle est quasiment la première étape de la planification de l'étanchéité de base.

Il est possible de partir du principe que le substratum naturel exerce un certain effet de barrière lorsque le coefficient de perméabilité des sols qui le compose est inférieur à $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s. Si la perméabilité est supérieure, un effet de barrière est inexistant.

Par conséquent : en fonction de la perméabilité du substratum naturel (*sol naturel*) une étanchéité minérale en argile de minimum 50 cm (2 couches de 25 cm) est à réaliser.

La perméabilité de la barrière géotechnique doit être déterminée sur la base des caractéristiques du substratum in situ. Si la barrière géologique naturelle présente un coefficient de perméabilité $k_f \leq 1 \times 10^{-8}$ m/s, les exigences en matière d'épaisseur pour l'étanchéité minérale peuvent être moins élevées. Si la perméabilité du sol est supérieure à 1×10^{-7} m/s, alors l'étanchéité minérale (argile) devra être augmentée à une épaisseur d'environ 1,0 m (4 couches de 25 cm ou 3 couches de 30 cm).

Les calculs de la barrière artificielle visant à compenser l'absence ou l'insuffisance d'une barrière géologique naturelle sont habituellement effectués en se basant sur la permittivité (Ψ ; unité 1/s), qui est calculée à partir du coefficient de perméabilité (k) divisé par l'épaisseur de couche. La permittivité d'une barrière géologique pour un casier est ainsi de: $1 = 1 \times 10^{-9}$ m/s / 1,0 = 1×10^{-9} 1/s.

Résumé

Si le sol naturel présente un coefficient d'imperméabilité $k_f \leq 10^{-7}$ m/s, alors on peut affirmer que ce sol présente déjà un effet de barrière (*passive*) mais qui doit être renforcé par une étanchéité minérale additionnelle (1ère partie de la barrière active) de minimum 1,0 m (4 couches de 25 cm chacune).

Si le sol naturel présente un coefficient d'imperméabilité $k_f \leq 10^{-8}$ m/s alors l'étanchéité minérale additionnelle peut être diminuée à 50 cm (2 couches de 25 cm chacune).

Si le sol naturel présente un coefficient d'imperméabilité $k_f \leq 10^{-9}$ m/s (*peu probable*), alors il présente les qualités d'imperméabilité idéales et alors une étanchéité minérale additionnelle n'est plus nécessaire. La barrière active sera composée uniquement de la géo-membrane.

ÉTANCHÉITÉS MINÉRALES

Les matériaux les plus souvent utilisés pour l'étanchéité minérale se composent de sols naturels empruntés soit directement sur le site soit dans des fouilles d'argiles ou de marnes situées à proximité. Ces matériaux d'étanchéité sont caractérisés par des propriétés en fonction de leur pourcentage en fines (*fraction argileuse et limoneuse*) et de leur distribution granulométrique.

Si les sols présents sur le site ne satisfont pas aux exigences imposées pour leur utilisation en tant que matériaux d'étanchéité minérale, ils peuvent être améliorés avec, par exemple, de la bentonite injectée par fraisage. La quantité d'additifs à apporter dans le sol doit être déterminée au préalable par des essais en laboratoire.

Une étanchéité minérale doit toujours être mise en place en couche d'une épaisseur maximale de 25-30 cm (*après compactage*). La réalisation de deux couches a pour objectif de prévenir une défaillance totale de l'étanchéité de l'ensemble du système, étant donné qu'il est rare que des fuites apparaissent simultanément dans deux couches successives mises en place. De plus, le compactage par les engins spécifiques (compacteur à pied de mouton) sur des couches plus importantes n'est pas effectif.

Le coefficient de perméabilité k du système d'étanchéité minérale ainsi réalisé ne doit pas être supérieur à 1×10^{-9} m/s. Pour pouvoir satisfaire à cette exigence, les matériaux mis en œuvre doivent être appropriés, présenter une teneur élevée en argile et être compactés de manière à assurer la qualité demandée. Il est possible de parler d'une étanchéité minérale de qualité que lorsque le coefficient de perméabilité est de l'ordre de $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s.

La figure suivante illustre le rapport entre la granulométrie et la perméabilité des sols.

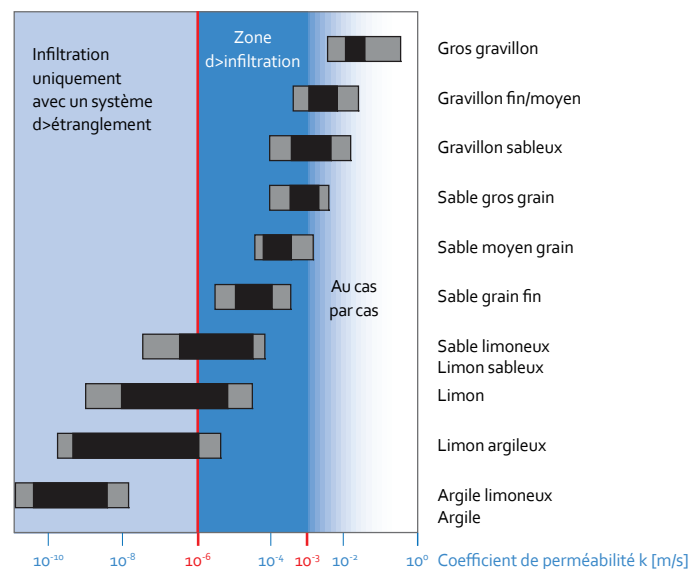


Figure 23: Rapport entre la granulométrie et la perméabilité du sol [3]

Dans ce contexte, il convient toutefois de tenir compte du fait qu'en raison du volume de gaz (*air*) interstitiel, les matériaux d'étanchéité minérale présentent toujours une certaine perméabilité résiduelle, même si celle-ci peut être qualifiée de négligeable.

La réalisation d'une étanchéité minérale s'effectue en apportant tout d'abord une première couche de matériaux dont la hauteur à l'état non compacté (*coefficient de foisonnement*) devra être déterminée au préalable par le biais d'un essai sur le terrain (*Planche d'essai*). Les matériaux de cette première couche doivent présenter une teneur en eau correspondant à la teneur en eau optimale [à définir par un essai Proctor, ou légèrement supérieure à celle-ci (*au max. toutefois de 5% supérieure à la limite Proctor optimale*).

Seul le respect de cette condition concernant la teneur en eau permet en effet de garantir la malléabilité des matériaux employés et, par conséquent un bon compactage.

ÉTANCHÉITÉ ACTIVE

Outre la barrière géologique, il est nécessaire de placer un système d'étanchéité actif au fond du casier. Sur le fond et les flancs de chaque casier, la barrière de sécurité active assure l'indépendance hydraulique, le drainage et la collecte des lixiviats et évite ainsi la sollicitation de la barrière de sécurité passive.

Les matériaux d'étanchéité utilisés en règle générale sont constitués par des

- Matériaux minéraux (*voir chapitre précédent*),
- Géo-membranes,
- Dans certains cas de revêtements en asphalte,
- Ou des mélanges géo-synthétiques minéraux (*géo-synthétique bentonitique obtenus à partir de sols naturels et de bentonite ou d'autres additifs par exemple*),

Les systèmes combinés (*géo-synthétiques/argile*) ne sont utilisés en tant que matériaux d'étanchéité à la base d'un casier qu'en cas exceptionnels et toujours uniquement en combinaison avec d'autres matériaux (*géo-membranes par exemple*).

En règle générale, les propriétés des matériaux d'étanchéité sont évaluées sur la base des critères suivants:

- Efficacité
- Étanchéité au transport par advection (*convection*) et diffusion des polluants
- Absorption des polluants (*coeff. de retard*)
- Résistance physique/mécanique
- Résistance aux agressions chimiques et biotiques (*protection contre les racines par exemple*)
- Sensibilité aux déformations (*tassements, stabilité*)
- Risque d'assèchement
- Résistance thermique, au gel, aux rayons UV
- Durabilité
- Risque de pénétration/poinçonnement
- Technique de mise en œuvre
- Dépendance vis-à-vis des conditions atmosphériques
- Assurance qualité
- Disponibilité des matériaux
- Dispositifs de protection et de sécurité supplémentaires nécessaires (*Couches de protection suppl. pour la géo-membrane par exemple*)
- Rentabilité
- Coûts de réalisation

La géo-membrane est le dispositif le plus utilisé. Elle doit être étanche, compatible avec les déchets stockés et mécaniquement acceptable au regard de la géotechnique du projet. Sa mise en place doit en particulier conduire à limiter autant que possible toute sollicitation mécanique en traction et en compression dans le plan de pose, notamment après stockage des déchets.

Le système complet sera généralement constitué de bas en haut :

- De la géo-membrane en PEHD elle-même, d'épaisseur variable mais d'une épaisseur minimale de 2,0 mm (*norme européenne : 2,5 mm*)
- D'un géotextile anti-poinçonnement de protection non tissé de 600 g/m² minimum en polypropylène ou en polyéthylène (*exclusion de tout autre type de géotextile*). *Le choix du géotextile dépend en majorité de la hauteur des déchets à enfouir (au-delà de 15 m de déchets, un géotextile supérieur à 600 g/m² devra être choisi)*
- Matériau drainant, avec drains en fond de casier, d'épaisseur supérieure ou égale à 30 cm ou dispositif équivalent. (*gravier/gravillon 16/32 maximum 10/40*) pauvre en teneur en chaud et de forme arrondie de préférence. Cette couche drainante **«enveloppe»** un réseau de conduite de drainage permettant l'évacuation des lixiviats vers un collecteur principal.
- **En option** : d'un géotextile de filtration et de protection contre le rayonnement ultraviolet non tissé d'ouverture de filtration supérieure à 100 mm et de poids égal à 130 g/m² (*en polypropylène ou en polyéthylène*) l'exclusion de tout autre type de géotextile. Ceci est une protection/séparation supplémentaire entre les déchets souvent inhomogènes et la couche drainante.

Les talus intérieurs des casiers doivent avoir une étanchéité identique ou similaire y compris les matériaux drainants. En fonction des pentes de ces talus, le matériau drainant en gravier 16/32 peut être remplacé par :

- Un géospaceur/géodrain en PEHD de transmissivité supérieure ou égale à 0.5×10^{-3} m/s pour un gradient hydraulique égal à la pente du talus soit 40% sous une pression de 400 kPa entre un géotextile et une plaque rigide. L'utilisation d'un géodrain remplacera la couche drainante et le géotextile sur les talus.

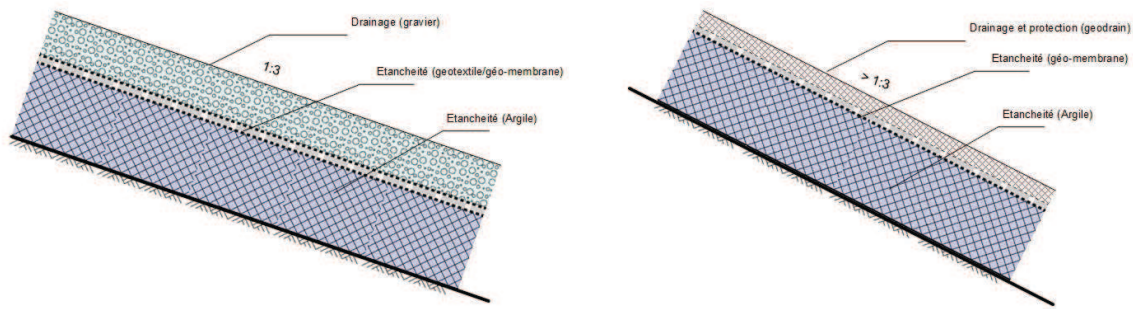


Figure 24: mise en place du système d'étanchéité sur talus

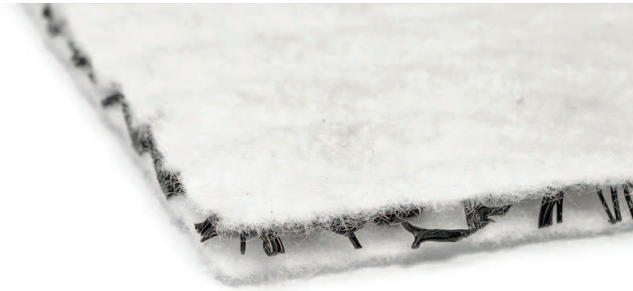


Image 2: Geodrain (par exemple Nave Secudrain 800©)

Les caractéristiques mécaniques du système d'étanchéité, soit :

- La résistance à la traction
- L'allongement
- La résistance au poinçonnement
- La dilatation thermique linéaire
- La pliabilité à froid
- La stabilité thermique et la résistance à la fissuration doivent être compatibles avec les contraintes de mise en œuvre et les matériaux au contact à savoir:
- La circulation des engins de terrassement lors de la mise en œuvre des matériaux drainants
- La circulation des engins de pose des collecteurs et drains et de mise en œuvre du lit de pose
- La circulation des engins de terrassement lors de la mise en œuvre des digues de séparation
- La circulation des engins de mise en œuvre des déchets
- Les surcharges statiques des matériaux drainants, des déchets, et de la couverture en dôme
- La nature des matériaux drainants sur géo-membrane
- La nature et de l'état du fond de forme
- La mise en œuvre des géo-synthétiques au contact sur les talus

Les méthodes de conception et de dimensionnement du système d'étanchéité actuellement disponibles reposent sur:

- Des calculs mettant en œuvre des formules scientifiques ou empiriques (*lestage pour compenser des contre-pressions éventuelles, ...*),
- Des essais de laboratoire (*caractéristiques mécaniques, compatibilité chimique, ...*),
- L'expérience et le « **bon sens** » pour des éléments difficilement quantifiables (*sécurité des personnes, protection contre le vandalisme, ...*),
- Les normes en vigueur

CONSIDÉRATIONS GÉOMÉTRIQUES

Emprise foncière

L'emprise foncière devra être suffisante pour que l'ensemble des éléments de l'ouvrage soit réalisable et exploitable dans les règles de l'art (*stabilité, pérennité, entretien, sécurité...*).

Forme générale

Dans tous les cas, il est conseillé d'adopter des formes géométriques simples pour l'ouvrage afin de faciliter la mise en œuvre du système d'étanchéité, limiter les assemblages et éviter la formation de plis. Pour les bassins qui ne nécessitent pas d'intégration dans un environnement particulier, on privilégiera les formes prismatiques ou développables.

La forme de l'ouvrage permettra à la géo-membrane d'être en contact en tout point avec le support.

En particulier, dans les angles, on pourra prévoir un dispositif de transition adapté à la nature de la géo-membrane.

Talus (*stabilité*)

La géo-membrane et plus généralement le système d'étanchéité ne doivent avoir aucune fonction stabilisatrice vis-à-vis des pentes naturelles ou artificielles (*déblais et remblais*) sur lesquelles ils sont placés ou viennent se raccorder.

Une étude de mécanique des sols doit être réalisée au préalable par le concepteur ou un bureau d'étude spécialisé, de manière à s'assurer de la stabilité de ces pentes en tenant compte :

- Des modifications (*hydrauliques et mécaniques*) liées à la construction de l'ouvrage et impactant son environnement,
- De l'incidence d'une fuite éventuelle liée à un désordre survenant lors de la réalisation de l'ouvrage ou de son exploitation

La mise en œuvre de géo-membranes est facilitée sur les pentes douces (*pente maximale de 2H / 1V pour les ouvrages de faible hauteur*). Ces pentes faibles sont destinées à faciliter aussi bien la circulation du personnel et des engins que la réalisation des assemblages sur le site.

La pente retenue doit également tenir compte de la stabilité propre du système d'étanchéité, par exemple vis-à-vis du glissement relatif de ses différents composants et des matériaux qui le recouvrent éventuellement.

La géométrie des pentes (*angles, longueur du rampant...*) des talus doit être compatible avec les performances mécaniques et les dimensions disponibles de la géo-membrane choisie (*par exemple, les soudures transversales sur chantier en talus ne sont pas autorisées*).

TÊTES DES TALUS ET RISBERMES

Il est conseillé de prévoir des têtes des talus ou des risbermes d'une largeur minimale de 6 m (*3 m au-delà de l'emprise de l'ancrage*) de façon à faciliter la circulation des engins sur ces parties de l'ouvrage et la réalisation des tranchées d'ancrage en tête de talus.

FOND DE FORME (*PORTANCE ET PENTE*)

Une pente du fond de forme de l'ordre de 2 à 3% dans le sens longitudinal et 3 à 5 % dans le sens transversal est recommandée pour le drainage des eaux.

Le niveau de portance du sol support doit permettre la circulation des engins nécessaires à la pose du système d'étanchéité sans orniérage. Dans le cas où l'orniérage ne peut être évité, le maître d'œuvre ou son représentant doit spécifier par écrit les limites acceptables.

ANCRAGES

L'ancrage a pour rôle principal d'empêcher le glissement du système d'étanchéité sur le talus.

Le dimensionnement de l'ancrage est de la responsabilité du concepteur.

Lors de la conception du système d'étanchéité, les paramètres suivants doivent être pris en compte dans tous les cas de figure :

- Nature du sol utilisé pour assurer le cordon de lestage en tête de talus (*densité*),
- Dimensions de l'ouvrage (*angles de la pente, hauteur du talus*),

- Choix du système d'étanchéité et des angles de frottement aux différentes interfaces (*exemple : sol/géotextile, sol/géo-membrane, géotextile/géo-membrane, géo-synthétique/couche de protection...*),
- Conditions hydrauliques au niveau des interfaces géo-synthétiques,
- Conditions d'exploitation.

Dans tous les cas, l'ancrage minimum recommandé est assuré par une tranchée d'ancrage de 0,50 m x 0,50 m. Dans le cas où la géo-membrane reste exposée, les efforts à prendre en compte sont ceux liés au poids propre ou aux éventuelles sollicitations des éléments extérieurs (*vent, courants, présence de neige,...*).

La conception de l'ancrage d'un système d'étanchéité est scindée en 2 étapes:

- Le calcul des efforts de traction à reprendre par l'ancrage,
- La conception de l'ancrage proprement dite.

La conception de l'ancrage nécessite le calcul de l'effort de traction à reprendre au préalable. Les sollicitations sont liées non seulement aux matériaux de confinement sur pente mais aussi aux modalités de mise en œuvre prévues. Ainsi, les données d'entrée, pour le calcul des efforts de traction à reprendre sont les suivantes :

- La géométrie du talus qui sera équipé avec le dispositif,
- La composition du dispositif d'étanchéité prévu, comprenant les matériaux, les angles de frottement d'interface entre les matériaux adjacents, et les caractéristiques géotechniques des matériaux surmontant le dispositif,
- Les sollicitations prévues (*surcharges, neige, mode d'exploitation et mise en œuvre des matériaux, etc.*).

Pour ces calculs, le concepteur peut prendre contact avec des fournisseurs connus sur le marché qui, pour la plupart du temps, possèdent tous les logiciels de calculs nécessaires et peuvent fournir les notes de calculs selon les données fournis par le BET.

Cas des géo-membranes exposées (*bassin de lagunage p. ex.*)

L'ancrage participe également à la résistance de la géo-membrane non lestée aux efforts de soulèvement entraînés par la dépression due au vent.

Le calcul des sections pesantes et des longueurs d'ancrage doit tenir compte des angles de frottement aux différentes interfaces du système d'étanchéité, mais également de la nature du sol utilisé, afin d'assurer le cordon de lestage.

Sur des talus de développés importants, en zone ventée, en couverture ou pour des ouvrages pouvant être vides (*bassins d'irrigation ou de rétention par exemple*), un système de lestage pérenne (*boudins, papillotes, éléments béton...*) est indispensable.

Dans tous les cas où on craint des mouvements importants du sol après mise en œuvre (*par exemple mise en eau d'un bassin*), il y a tout intérêt à prévoir un ancrage en tête par lestage provisoire permettant le plaquage de la géo-membrane sur le support après stabilisation des mouvements.

L'ancrage définitif intervient ultérieurement.

Cas des géo-membranes protégées (*talus et base de casier p. ex.*)

La mise en place d'une protection de la géo-membrane permet d'accroître sensiblement sa durabilité.

Cette protection peut également permettre l'intégration environnementale de l'ouvrage.

Cependant, l'apport de matériau sur le dispositif d'étanchéité engendre des sollicitations nécessitant de vérifier la stabilité au glissement et en traction des différents composants. En fonction du résultat, il peut être nécessaire de mettre en place un dispositif de renforcement et d'accroche terre et des ancrages appropriés.

CONSIDÉRATIONS CLIMATIQUES

Les conditions météorologiques impactent sensiblement l'assemblage, la mise en œuvre et le comportement des géo-membranes.

Températures extrêmes et variations de température

L'application des géo-membranes est déconseillée en dehors des plages 0°C-35°C (*température ambiante*). Dans le cas où cette recommandation n'est pas suivie, un accord entre le maître d'œuvre et l'entreprise d'application doit être écrit et signé concernant la méthodologie d'assemblage proposée.

Les géo-membranes et leur soudabilité sont sensibles aux variations de températures dans une même journée. Ce paramètre doit être pris en compte lors de la mise en œuvre de ces matériaux.

HYGROMÉTRIE ET PLUVIOMÉTRIE

Il est interdit d'assembler des lés de géo-membranes sous la pluie, sous la neige, sur des supports constitués d'un sol sursaturé (*boue,...*). Les soudures doivent être réalisées au moins à 3°C au-dessus du point de rosée.

CONSIDÉRATIONS LIÉES AUX AGRESSIONS DIVERSES

Poinçonnement

Les géo-membranes peuvent être exposées à des sollicitations mécaniques de poinçonnement sévères conduisant à leur endommagement. Ces sollicitations, rencontrées aussi bien à la mise en œuvre qu'en phase d'exploitation, peuvent engendrer des dégâts allant du défaut de surface au percement de la géo-membrane, nuisant ainsi à son intégrité et à sa pérennité.

Le système d'étanchéité doit avant tout être conçu pour limiter l'endommagement par poinçonnement de la géo-membrane. L'endommagement mécanique des géo-membranes par poinçonnement résulte de la mise en contact de cailloux, granulats ou tout autre objet ou élément de structure, pointu ou proéminent, avec le complexe géo-synthétique du système d'étanchéité. Cependant, les contraintes générées sur le complexe géo-synthétique peuvent être également des contraintes de frottement, avec abrasion, et de poinçonnement localisé. Il peut en résulter pour la géo-membrane des endommagements de surface (*marques, griffures*), une déformation (*rémanente ou non*), voire un percement. Dans la pratique, l'élément endommageant peut aussi bien se trouver sous le complexe géo-synthétique qu'au-dessus. En effet, un complexe géo-synthétique peut par exemple être posé en fond de bassin sur un sol présentant des éléments grossiers ou bien être recouvert par une couche granulaire.

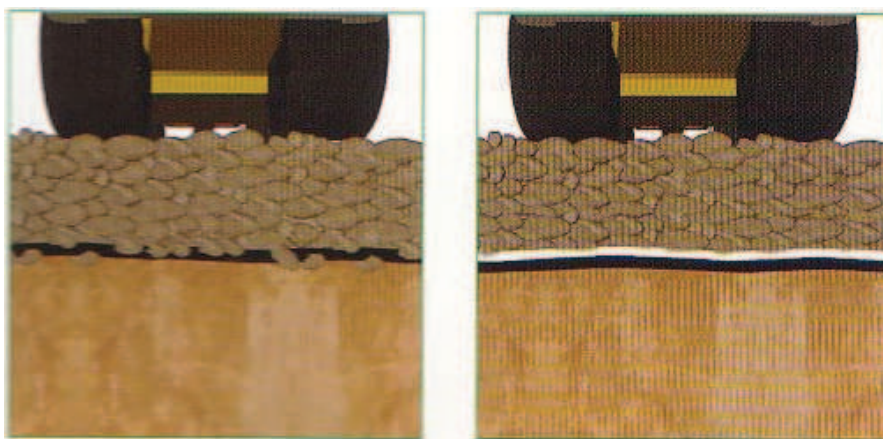


Figure 25: Cause et objectif de la mise en place d'un géotextile de protection [4]

L'état ultime de l'endommagement est le percement de la géo-membrane. Cependant, toute autre forme d'endommagement peut nuire à la pérennité de la géo-membrane. En effet, toute déformation ou rayure excessive entraîne une dégradation des caractéristiques physiques et mécaniques des géo-synthétiques, risquant d'affecter les propriétés d'étanchéité à long terme. Le défaut peut évoluer en perforation par mise en traction, fluage, fissuration sous contrainte.

Le dimensionnement de la géo-membrane et de ses protections, dans un contexte donné, dépend :

- Des caractéristiques des géo-synthétiques (*géo-membrane et géotextile(s)*) : nature du polymère, type de fabrication, masse surfacique, épaisseur...
- De la qualité des matériaux en contact avec le complexe géo-synthétique : granulométrie, angularité, portance...
- Des conditions de mise en œuvre de la structure de recouvrement : modalités de mise en place du matériau, énergie de compactage, épaisseur de la couche compactée.
- Des conditions d'exploitation et de la classe de conséquence de l'ouvrage,
- De la durée de service prévisible de l'ouvrage.

CONSIDÉRATIONS GÉOTECHNIQUES

Une étude de mécanique des sols (*voir partie APD*), portant sur l'ensemble de l'emprise de l'ouvrage, doit être réalisée par le concepteur de manière à s'assurer :

- De la portance du sol support,
- De la stabilité des pentes,
- Des modifications (*hydrauliques et mécaniques*) liées à la construction de l'ouvrage et impactant l'environnement,
- Des conséquences d'une vidange rapide éventuelle.

Certains types de sols support risquent d'évoluer avec le temps ou en cas de fuite consécutive à une dégradation du système d'étanchéité, ce point doit être pris en compte par le concepteur.

La conception des différents raccordements de la géo-membrane aux ouvrages rigides tels que massifs de béton, canalisations doit tenir compte des mouvements différentiels dus à ces sols dans la zone des raccordements.

CONSIDÉRATIONS LIÉES À LA DURABILITÉ

Le concepteur doit prendre en compte les facteurs environnementaux impactant la pérennité du système d'étanchéité.

Le vieillissement des géo-synthétiques exposés est principalement dû au rayonnement ultra-violet, à la chaleur et à l'oxygène, mais aussi à d'autres facteurs climatiques tels que l'humidité, la pluie.

Une caractérisation adéquate du sol est par ailleurs essentielle pour une bonne prise en compte de la durabilité des géo-synthétiques non exposés : pH, présence d'oxygène, teneur en eau, matière organique, température et micro-organismes, teneur en carbonates du sol et de son eau capillaire (*phénomène de calcification à éviter dans la couche drainante*).

RAYONNEMENT ULTRA-VIOLET

Selon leur composition, les géo-synthétiques sont plus ou moins sensibles à l'action du rayonnement ultra-violet.

La mise en place d'une structure de protection supprime ce problème. La cinétique de dégradation des géo-synthétiques liée aux rayonnements ultra-violets dépend également de l'ensoleillement de la localisation géographique de l'ouvrage (*altitude, orientation des talus*).

OXYDATION

Le phénomène d'oxydation dégrade les caractéristiques mécaniques des géo-synthétiques.

Ce phénomène est lié à la présence d'agents oxydants au contact du système d'étanchéité (*oxygène, effluents,...*). Selon leur composition, les géo-synthétiques sont plus ou moins sensibles à l'oxydation.

MICRO-ORGANISMES

L'expérience montre que de manière générale, les géo-synthétiques résistent à l'action des micro-organismes.

Cependant, certains d'entre eux doivent faire l'objet d'un traitement spécifique. Dans les cas spécifiques de présence de micro-organismes, le concepteur pourra se rapprocher des producteurs pour vérifier la résistance des produits utilisés.

VANDALISME

Le risque de vandalisme est un paramètre qui peut conduire à envisager des dispositifs de protection particuliers (*clôture, structure de protection totale ou partielle, vidéo surveillance...*).

TRAFIC

Si l'ouvrage doit supporter un type de trafic déterminé, le système d'étanchéité doit être dimensionné en conséquence par le concepteur sur un fond de forme adéquat.

Rappel : il est interdit de rouler directement sur les géo-synthétiques sans une couche de protection adaptée et d'épaisseur suffisante.

ANIMAUX

Le passage d'animaux peut provoquer des dégradations très importantes sur une géo-membrane non protégée. On aura alors recours à une structure de protection périphérique de l'ouvrage (*clôture,...*).

La présence d'un «**dispositif de grimper**» adapté permet aux animaux de quitter un plan d'eau à la suite d'une chute accidentelle.

Une structure de protection de la géo-membrane évite les dommages causés à la géo-membrane par l'animal qui se débat.

La nécessité éventuelle au sein du système d'étanchéité d'une couche de protection supérieure de la structure d'étanchéité dépend de l'aptitude de l'ensemble «**structure support - structure d'étanchéité**» à réagir, sans perte de ses caractéristiques, aux différentes sollicitations extérieures qui lui sont imposées tant au cours du chantier que par la suite en cours d'exploitation de l'ouvrage.

La structure de protection peut également, dans certains cas, jouer un rôle dans l'aspect esthétique ou l'intégration paysagère de l'ouvrage. Le choix des matériaux de recouvrement ne découle plus uniquement de considérations purement techniques.

La structure de protection supérieure doit être auto-stable afin de ne pas engendrer d'efforts sur la géo-membrane. Cependant l'apport de matériaux sur la géo-membrane engendre des sollicitations nécessitant de vérifier la stabilité au glissement et en traction des différents composants du système d'étanchéité.

Les flancs des casiers doivent obligatoirement avoir les mêmes contraintes de perméabilité.

Résumé

Sur un CET, le dispositif d'étanchéité se trouve à deux niveaux :

- Au niveau du casier (*en bas de casier et sur les talus*)
- Au niveau des bassins de stockage des eaux (*lixiviats, eaux usées etc.*)

Le dispositif d'étanchéité du casier est caractérisé par un système passif (*sol naturel*) renforcé par un système actif (*étanchéité minérale (argile) + géo-membrane*). La géo-membrane est protégée contre les sollicitations mécanique, physique et chimique par un géotextile de protection et par une couche drainante. Ce système doit être conçu et dimensionné selon diverses considérations présentées ci-dessus. L'épaisseur de la géo-membrane la plus usuelle en Algérie est de 2 mm. Pour les talus, le même dispositif d'étanchéité doit être appliqué. Ceci est seulement possible par des talus de pentes $> 1:3$. Pour des talus plus pentus, un dispositif ayant des caractéristiques similaires doit être conçu. A cet effet, les couches de protection et de drainage (*géotextile et gravier*) sont remplacées par un géo-drain.

Le dispositif d'étanchéité des bassins de stockage des eaux est constitué uniquement d'un système actif (*étanchéité minérale*) et d'une géo-membrane exposée. Ici les recommandations en matière de conception sont surtout axées sur l'ancrage ainsi que les mesures de protection contre l'envol (*voir paragraphes précédents*).

LES LIXIVIATS

DÉFINITION

Par «lixiviats», on désigne les liquides (*eaux de percolation*) qui sont collectées au fond du casier d'enfouissement et évacuées de celui-ci par le système de drainage et de collecte correspondant. La production de lixiviats est due à la consolidation des déchets et surtout aux précipitations qui tombent sur le site et qui percolent à travers les déchets. Absorbant les substances solubles contenues dans les déchets, les eaux de percolation se polluent en fonction de la teneur en substances nocives de ceux-ci.

La collecte et le traitement des lixiviats est un point essentiel mais qui pose encore problème, non seulement en Algérie, mais dans beaucoup de pays en développement. Surtout les aspects financiers font que les installations de traitement sont soit sous-dimensionnées ou non adéquates.

Ci-dessous est présentée la méthodologie pour le dimensionnement du traitement des lixiviats.

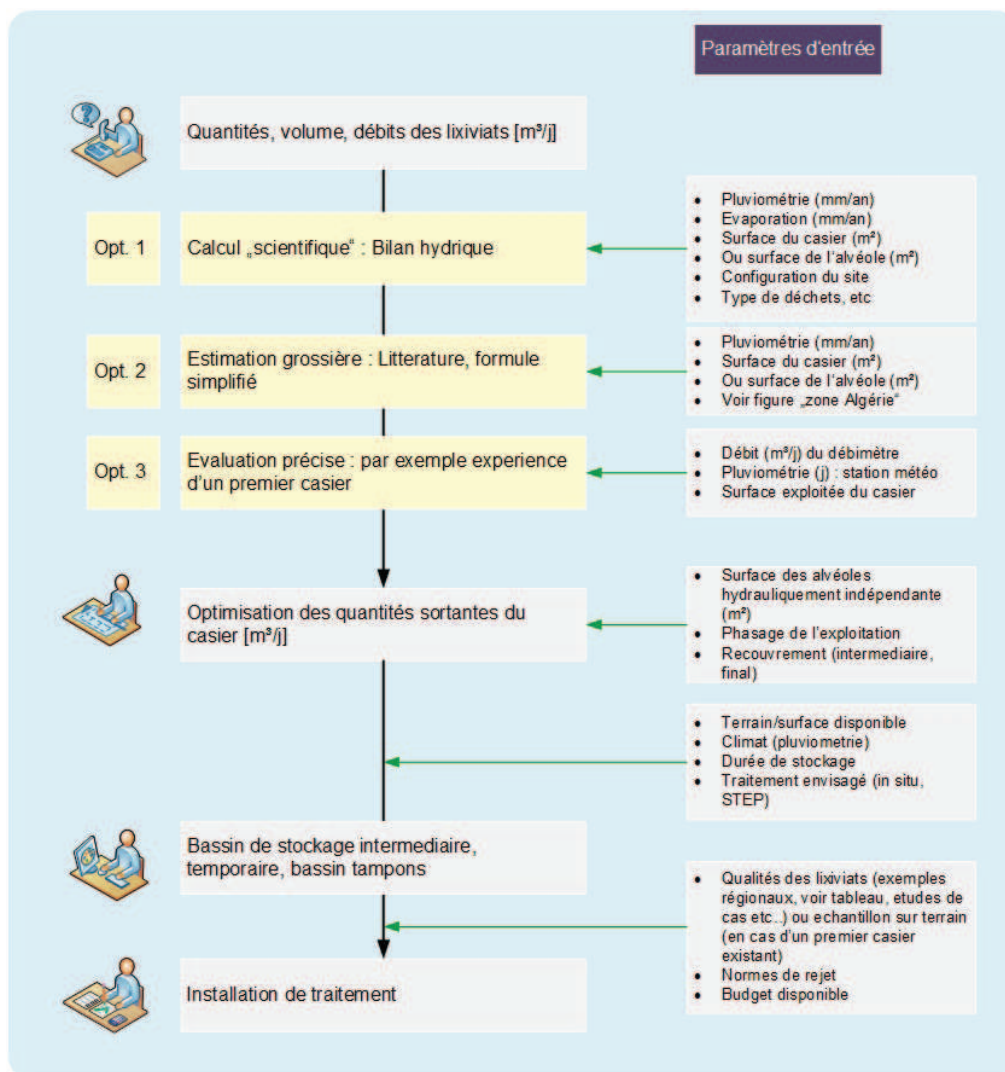


Figure 26: méthodologie de dimensionnement d'une installation de traitement des lixiviats

QUANTITÉ, VOLUME, DÉBIT DES LIXIVIATS

En Algérie, la composition majeure des déchets enfouis en CET de classe II, sont à base organique (*déchets putrescibles*). Ils font environ 60% de la quantité des déchets enfouis et sont la cause majeure de la production des lixiviats (*en combinaison avec la pluviométrie*) à l'intérieur du casier.

À cela viennent s'ajouter (*et souvent oublié lors de la conception*) des eaux usées provenant des diverses zones d'exploitation.

De manière générale et simplifiée, la quantité totale de lixiviats peut être décrite par:

$$Q_{\text{totale}} = Q_N + Q_{\text{cons}} + Q_{\text{div}}$$

avec

Q_N : Quantité de lixiviats issue des eaux de pluie (*percolant à travers le casier*)

Q_{cons} : Quantité de lixiviats issue de la consolidation des déchets

Q_{div} : Autres eaux usées résultant des diverses opérations d'exploitation. Ces eaux qui sont acheminées vers un bassin de stockage de lixiviats proviennent en général de la zone de réception des déchets, de la station de lavage des véhicules ou du laboratoire (*si existant*).

Pour la quantité des lixiviats issue du casier ainsi que celle issue de la consolidation des déchets, la formule générale suivante s'applique :

$$Q_N + Q_{\text{Cons}} = P - EV - ES - S - DE + Pr$$

$Q_N + Q_{\text{Cons}}$: Quantité de production des lixiviats à l'intérieur du casier [m^3/a]

P : Précipitations [m^3/a] = Précipitations [mm/a] $\times 0,01$ [m/mm] $\times$ Surface du casier [m^2]

EV : Evaporation [m^3/a]

ES : Ecoulement en surface [m^3/a] (*en fonction du taux de couverture du casier*)

S : Stockage [m^3/a] (*rétenion des lixiviats à l'intérieur du casier*)

DE : Demande en eau des déchets dans un casier pour les processus de dégradation [m^3/a]

Pr : Production de lixiviats par les processus de dégradation [m^3/a]

Cette formule se heurte le plus souvent, de manière pratique, aux manques de données à moyen et long terme. Surtout lorsqu'il s'agit de planifier un nouveau CET, les processus de consolidation (*demande et production d'eau*) ne peuvent être évalués que par des valeurs empiriques.

Cette formule qui représente la méthode la plus exacte d'évaluer la quantité des lixiviats est appelé **bilan hydrique**. Elle est donc fortement dépendante des données disponibles (*données météorologiques, précipitations, température, pression atmosphérique etc.*) et malgré des logiciels disponibles gratuitement (*logiciel Hydraulic Evaluation of Landfill Performance, développé par l'Agence américaine de protection de l'environnement*), qui peuvent fournir une assistance au concepteur, cette approche reste difficilement maîtrisable.

Pour une première approche, il est donc recommandé d'appliquer des formules beaucoup plus simplifiées assez suffisantes pour un dimensionnement sûr.

Pour le cas de l'Algérie, deux méthodes de calcul des lixiviats sont recommandées :

1ère méthode : La formule simplifiée à l'aide de coefficient d'écoulement (*développé par Riegler en 1995*).

	Coefficient d'écoulement CE
Casier en exploitation	0.5 - 0.7
Casier ouvert mais pas en exploitation	0.9 - 0.95
Casier fermé	0.02 - 0.1

$$Q [\text{m}^3/\text{an}] = P \times n / (1000 \times CE \times S)$$

P : Précipitations moyenne annuelle en mm ou l/m²

N : facteur de pointe (*p. ex : 1,25*)

CE : Coefficient d'écoulement selon Riegler

S : Surface d'écoulement [m^2]

En fonction du phasage du CET, il est possible à l'aide d'un simple tableau Excel© de calculer la quantité maximale de développement de lixiviats pour le dimensionnement de l'installation de traitement.

EXEMPLE PRATIQUE DE CALCUL DES QUANTITÉS DE LIXIVIATS

Phasage d'un CET (*suite à la conception d'un BET*)

Phase	Surface	Casier	Surface du casier	Type
	[m²]		[m²]	
I	39.852	1 & 2	21.365	Fermé
				Surface ouverte
		3	9.338	Fermé
				Surface ouverte
		4	9.149	Fermé
				Surface ouverte
II	8.932	5	8.932	Fermé
				Surface ouverte
III	8.729	6	8.729	Fermé
				Surface ouverte
III	8.513	7	8.513	Fermé
				Surface ouverte
III	10.586	8	10.586	Fermé
				Surface ouverte
			S.total [m²]	Fermé
			S.total [m²]	Surface ouverte
			Total [m²]	Tous types

Quantités de lixiviats générées

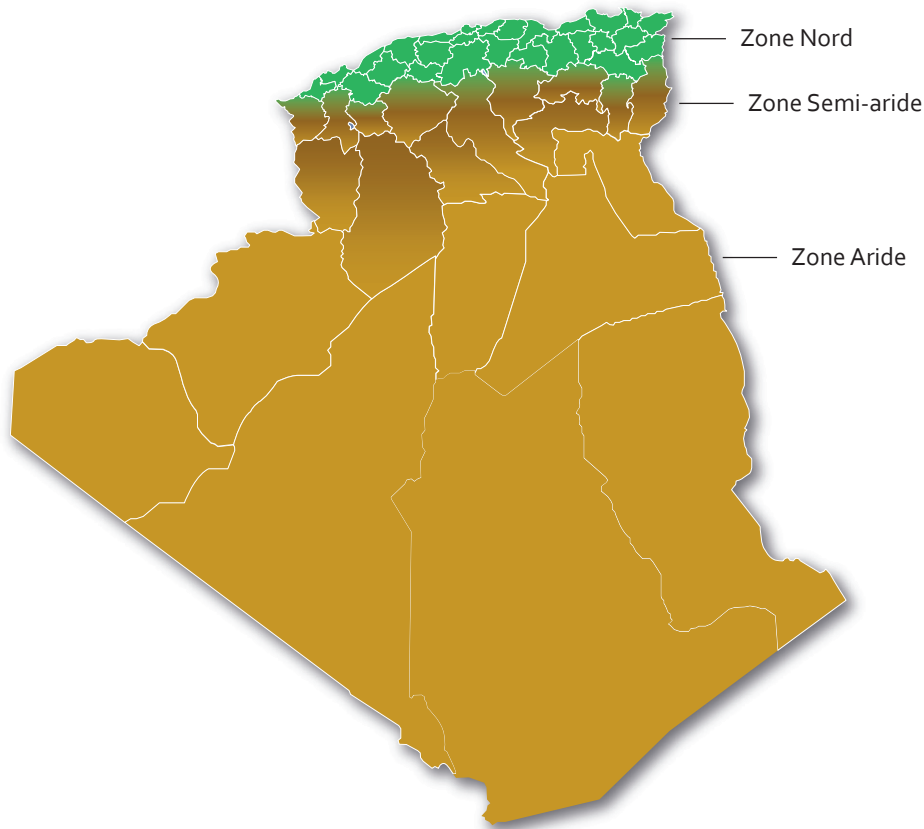
Coefficient d'écoulement (<i>Riegler et al., 1995</i>)			
Casier en opération	0.5 - 0.7		
Casier ouvert pas en exploitation	0.9 - 0.95		
Casier fermé	0.02 - 0.1		
Précipitation moyenne	760,77	l/m2	[1]
Facteur de pointe annuel	1,25		[2]
Précipitation annuelle de calcul	950	l/m2	[3] = [1] × [2]

Période/Année							
16-17	18-19	20-21	22-23	24-25	26-27	30-32	Fermeture tle du casier
	64%	90%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	36%	10%					
		23%	73%	100%	100%	100%	100%
	100%	77%	27%				
			7%	83%	100%	100%	100%
		100%	93%	17%			
				23%	84%	100%	100%
			100%	77%	16%		
					20%	82%	100%
				100%	80%	18%	
						22%	100%
					100%	78%	
							100%
0	13.654	21.386	28.797	40.390	49.123	57.778	76.612
21.365	17.049	18.466	19.987	17.123	16.903	18.834	0
21.365	30.703	39.852	48.784	57.513	66.026	76.612	76.612

Période	Type de surface	Surface	Coefficient d'écoulement
		[m²]	
2016 - 2017	Fermé	0	10%
	Surface ouverte	21.365	70%
	Total	21.365	
2018 - 2019	Fermé	13.654	10%
	Surface ouverte	17.049	70%
	Total	30.703	
2020 - 2021	Fermé	21.386	10%
	Surface ouverte	18.466	70%
	Total	39.852	
2022 - 2023	Fermé	28.797	10%
	Surface ouverte	19.987	70%
	Total	48.784	
2024 - 2025	Fermé	40.390	10%
	Surface ouverte	17.123	70%
	Total	57.513	
2026 - 2029	Fermé	49.123	10%
	Surface ouverte	16.903	70%
	Total	66.026	
2030 - 2032	Fermé	57.778	10%
	Surface ouverte	18.834	70%
	Total	76.612	
Clôture totale du site	Fermé	76.612	10%
	Surface ouverte	0	70%
	Total	76.612	

Précipitation	Quantité de lixiviats	Quantité moyenne de lixiviats
[mm]	[m³/a]	[m³/j]
950	0	
950	14.208	
	14.208	38,9
950	1.297	
950	11.338	
	12.635	34,6
950	2.032	
950	12.280	
	14.312	39,2
950	2.736	
950	13.291	
	16.027	43,9
950	3.837	
950	11.387	
	15.224	41,7
950	4.667	
950	11.240	
	15.907	43,6
950	5.489	
950	12.525	
	18.014	49,4
950	7.278	
950	0	
	7.278	19,9
Paramètre de dimensionnement	18.014	49,4

La deuxième méthode proposée, au cas où les données climatiques (*pluviométriques*) ne sont pas disponibles ou incertaines (*nombres d'années limités*) c'est d'utiliser les paramètres développés par une étude scientifique élaborée en 1999 pour le territoire algérien [5].



En appliquant les mêmes principes de phasage que précédemment on peut arriver à des résultats concluants (**attention aux unités : pour la méthode 2 les surfaces sont en ha et non en m²**).

	Casier / Alvéole en exploitation		Casier / Alvéole fermée	
	Moyenne [m³/(ha.j)]	Maximum [m³/(ha.j)]	Moyenne [m³/(ha.j)]	Maximum [m³/(ha.j)]
Zone 1	3	15	1 - 2	1,5 - 3
Zone 2	1,5	8	0,5 - 1	1 - 2
Zone 3	0,1	-0	1	0,5

COMPOSITION DES LIXIVIATS

La qualité des lixiviats dépend principalement du type de déchets enfouis. L'enfouissement de déchets ménagers mélangés caractérisés par un fort pourcentage en matières organiques entraîne la production de lixiviats fortement chargés de substances organiques.

Si de plus la gestion du centre est négligée il se peut que des déchets illicites soient acheminés et enfouis sur le site à l'insu du gestionnaire entraînant l'apparition de substances polluantes intruses (*métaux lourds, etc.*).

La composition des lixiviats est un facteur majeur dans le dimensionnement du mode de traitement. Ici aussi les facteurs limitant en Algérie sont le manque d'une base de données fiable et exhaustive. Malgré le nombre important de CET réalisés et exploités, peu d'études ont été réalisées pour déterminer la composition des lixiviats.

Le maître d'œuvre doit essayer, à défaut de données centralisées, de faire une recherche auprès des universités environnantes s'il y a des études disponibles. Une autre approche serait de prélever des échantillons de lixiviats au niveau de la décharge la plus proche du projet prévu et de les faire analyser au laboratoire. Autre possibilité, c'est de se fier aux rares études dans ce domaine et d'utiliser ces valeurs pour un premier dimensionnement.

Le tableau ci-dessous présente les résultats d'une campagne d'analyse effectuée par le BET Geoplan en 2006 destinant à caractériser les lixiviats de différentes régions en Algérie.

Ces données peuvent être utilisés à titre d'exemple si un CET devrait être conçu dans la région respective.

		CET O.Fayet-Alger	CET O.Fayet-Alger	CET O.Fayet-Alger
Echantillon		S1	S2	S3
Lieu de prélèvement		Bassin de décantation	Point bas du casier 4	Casier 2
Date de prélèvement		09.07.2006	09.07.2006	09.07.2006
Date des analyses		12.07.2006	12.07.2006	17.07.2006
Paramètre	Unité			
Couleur	-	Noir	Noir	Noir
odeur	-	Fort	Fort	Fort
pH	-	8,2	7,9	7,6
Conductivité à 25°C	ms/cm	29	10	37
Matière en suspension	mg/l	9100	300	80
DCO	mg/l	3000	4100	5900
DBO ₅	mg/l	1750	930	2700
NH ₄	mg/l	39	16	81
Nitrite NO ₂	mg/l	9,9	8,2	5
Nitrate NO ₃	mg/l			
Azote total NTK	mg/l	1500	310	2000
Phosphate total	mg/l	1,2	20	20
Chlorure	mg/l	4500	1400	6000
Fluorure	mg/l	N.A	N.A	N.A
Sulfate	mg/l	700	76	3000
Phénol	mg/l	4,6	46	14
Graisse et huiles	mg/l	7	-	3
Fer	mg/l	7	82	1200
Manganèse	mg/l	0,7	1,6	0,2
Calcium	mg/l	19	57	20
Magnésium	mg/l	110	160	48
Potassium	g/l	2,1	0,7	2,8
Sodium	g/l	1,8	1,1	2,3
Bore	mg/l	4	4	10
Arsenic	mg/l	1	0,6	1,2
Mercure	mg/l	2,4	54	9,8
Cadmium	mg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Plomb	mg/l	< 0,02	< 0,2	< 0,2

Ancienne décharge de Berka Zerga Annaba	Ancienne décharge de Berka Zerga Annaba	CET de Berka Zerga Annaba	Décharge du 13 ^e Constantine	Décharge Tébéssa
S4	S5	S6	S7	S8
Ancien déchets	S.le passage busé	Casier	Zone de dépôt	Zone de dépôt
10.07.2006	10.07.2006	10.07.2006	10.07.2006	11.07.2006
12.07.2006	12.07.2006	12.07.2006	12.07.2006	12.07.2006
Résultats				
Marron	Clair	Noir	Marron	Marron
Fort	Fort	Fort	Fort	Fort
7,5	7,5	8,6	7,8	7,6
7,1	4,1	30	36	16
32	26	53	170	1100
270	370	130	2500	5000
670	530	410	550	470
10	25	28,4	1,3	29
3,6	0,7	66	1,2	1,3
88	32	250	430	140
2	0,6	29	0,3	0,1
5400	3900	15000	13000	9000
N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
54	160	110	71	2000
9,2	7,2	36	20	19
35	60	8	50	50
8,6	7,7	12	4,5	19
3,9	1,7	0,5	0,2	1,1
210	320	46	290	540
230	170	100	300	520
0,2	0,1	3,4	3,7	1
0,8	0,3	5,3	4,3	1,7
5,5	N.A	11	7	10
N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
1,5	5,8	11	1,5	7,1
< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,3

		CET O.Fayet-Alger	CET O.Fayet-Alger	CET O.Fayet-Alger
Echantillon		S1	S2	S3
Lieu de prélèvement		Bassin de décantation	Point bas du casier 4	Casier 2
Date de prélèvement		09.07.2006	09.07.2006	09.07.2006
Date des analyses		12.07.2006	12.07.2006	17.07.2006
Paramètre	Unité			
Chrome total	mg/l	0,5	0,3	1
Cuivre	mg/l	< 0,1	< 0,1	0,1
Nickel	mg/l	0,4	0,3	0,3
Zinc	mg/l	0,6	0,5	1,1
Hydrocarbures totaux	mg/l	0,05	0,05	1,3
Manganèse	mg/l	0,7	1,6	0,2
Calcium	mg/l	19	57	20
Magnésium	mg/l	110	160	48
Potassium	g/l	2,1	0,7	2,8
Sodium	g/l	1,8	1,1	2,3
Bore	mg/l	4	4	10
Arsenic	mg/l	1	0,6	1,2

Tableau 4: Résultats de différentes analyses de lixiviats effectués en Algérie (Geoplan 2006) [6]

Les différents modes de traitement seront présentés dans le chapitre traitement.

DRAINAGE ET COLLECTE DES LIXIVIATS

Avant de se consacrer au traitement, le concepteur du site doit d'abord dimensionner le système de drainage et de collecte des lixiviats. Le drainage et l'évacuation contrôlés des lixiviats par un système adéquat représentent la troisième étape de la planification.

Le système a pour fonction :

1. De collecter les lixiviats entassés au fond des casiers
2. Par conséquent, la minimisation de la retenue des lixiviats au fond du casier
3. D'évacuer les lixiviats du casier vers une installation de traitement

L'accumulation des lixiviats au fond du casier présente de nombreux inconvénients :

- Lessivage des déchets plus important et, par conséquent, une plus grande concentration en matières nocives dans les lixiviats.
- La pression de charge hydrostatique est augmentée, ce qui entraîne une plus forte émission de lixiviats.
- La stabilité du casier est diminuée. Par conséquent, des ruptures de talus peuvent être provoquées.
- Diminution du volume net de déchets à enfouir
- Diminution de l'efficacité du compactage et, par conséquent, diminution de la durée de vie.

Le système de drainage est donc à dimensionner de telle façon à ce qu'il puisse garantir une bonne évacuation des eaux. La longévité du système de drainage doit être garantie non seulement par la réalisation conforme aux règles de l'art mais aussi par une bonne gestion et un bon entretien du système.

Décharge de Berka Zerga Annaba	Décharge de Berka Zerga Annaba	CET de Berka Zerga Annaba	Décharge du 13 ^e Constantine	Décharge Tébéssa
S4	S5	S6	S7	S8
Ancien déchets	S.le passage busé	Casier	Zone de dépôt	Zone de dépôt
10.07.2006	10.07.2006	10.07.2006	10.07.2006	11.07.2006
12.07.2006	12.07.2006	12.07.2006	12.07.2006	12.07.2006
Résultats				
< 0,2	< 0,2	0,8	< 0,2	< 0,2
< 0,1	< 0,1	2,4	< 0,1	< 0,1
< 0,2	< 0,2	0,5	0,3	< 0,2
< 0,03	0,1	1,2	0,1	0,3
0,1	0,01	0,1	0,1	0,02
3,9	1,7	0,5	0,2	1,1
210	320	46	290	540
230	170	100	300	520
0,2	0,1	3,4	3,7	1
0,8	0,3	5,3	4,3	1,7
5,5	N.A	11	7	10
N.A	N.A	N.A	N.A	N.A

Conception du système de drainage

Le système de drainage est constitué généralement des éléments suivants :

- Une couche de drainage (à l'intérieur du casier)
- Des conduites de drainage (à l'intérieur du casier)
- Des structures de support (passage à travers la digue, éléments de jonction entre conduites etc.)
- Des regards de contrôle, de collecte et de maintenance (à l'extérieur du casier)
- Des conduites de collecte et de transport (à l'extérieur du casier)

LA COUCHE DE DRAINAGE

La couche de drainage doit être constituée d'un matériel possédant une bonne perméabilité au liquide. Elle est appliquée sur le système d'étanchéité de base.

Les exigences ci-dessous doivent être respectées :

Le système d'étanchéité doit être profilé par une déclivité longitudinale et transversale afin de permettre une évacuation en pente libre des lixiviats. Ce profil est réalisé en profilant la base du casier (*terrain naturel*).

Au fond, le casier doit être profilé en forme de « **toiture** » ; les conduites de drainage sont placées aux points les plus bas. La couche de drainage doit être placée de telle façon à éviter une accumulation des lixiviats au fond du casier.

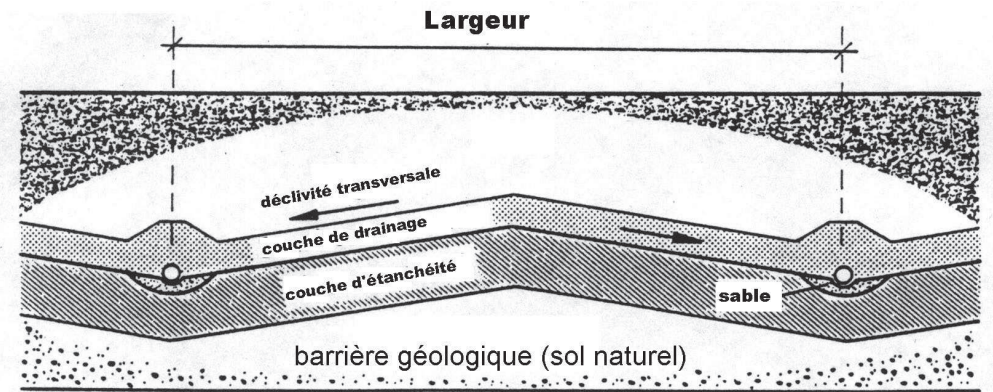


Figure 27: Coupe en travers du système de drainage en fond de casier (APS) [7]

La hauteur de retenue des lixiviats est influencée non seulement par la quantité des lixiviats mais aussi par les paramètres suivants :

- Coefficient d'imperméabilité du matériel de la couche de drainage
- Distance entre les conduites de drainage
- Déclivité transversale de la couche de drainage

La longévité de l'imperméabilité de la couche de drainage peut être prolongée par le choix de matériau grossier pour la couche de drainage, par un prétraitement des déchets ainsi que par une exploitation efficace des casiers.

Pour la couche de drainage, il est recommandé d'utiliser une granulométrie ronde et à faible teneur en calcaire, car le calcaire contenu dans les matériaux de la couche de drainage est susceptible de se dissoudre en formant des dépôts dans les conduites, pouvant en effet entraîner un colmatage des conduites et des tuyaux de drainage. Dans ce cadre, il convient toutefois de tenir compte du fait que des matériaux présentant une faible teneur en calcaire n'existent pas dans toutes les régions. Si la teneur en calcaire est élevée, il faut augmenter l'épaisseur de la couche de drainage.

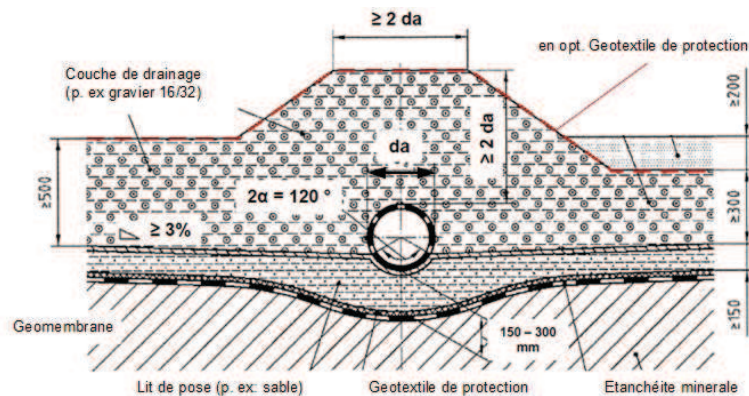


Figure 28: Coupe du système de drainage des lixiviats en APS [8]

Couche de drainage	Recommandation
Matériel (<i>granulométrie</i>)	32 / 16 $\varnothing$ mm (<i>fractions minimales pas trop fine, fourchette granulométrique pas trop espacée</i>)
Imperméabilité k_f	10-3 $\varnothing$ m/s
Déclivité transversale	3,0 $\varnothing$ %
Epaisseur	300 $\varnothing$ mm

Tableau 5: Recommandations pour la couche de drainage



Image 3: exemple de la granulométrie d'une couche de drainage [1]

Une réduction de l'épaisseur de la couche de drainage est possible dans la mesure où la preuve est apportée que l'épaisseur retenue s'avère suffisante pour éviter une accumulation d'eau à long terme.

LES CONDUITES DE DRAINAGE

Les conduites de drainage (*conduites perforées*) ont pour but d'évacuer les lixiviats du casier.

Les principes ci-dessous sont à respecter :

Les conduites doivent être placées de telle façon à permettre un bon nettoyage et un bon contrôle. Les conduites doivent être accessibles par les deux extrémités à l'aide de regard de contrôle et/ou de maintenance

Les conduites de drainage au niveau du casier doivent être appliquées **de manière rectiligne**. Des différences de déclivité peuvent être acceptées à condition de ne pas gêner les travaux de maintien et de contrôle.

Les intersections de conduites ne pouvant pas être contrôlées et nettoyées sont à éviter.

Les longueurs maximales des sections de conduite sont définies par les longueurs des appareillages de nettoyage et de contrôle. Il est recommandé de ne pas excéder une longueur de 300 mètres linéaires.

Il est recommandé d'utiliser un diamètre supérieur à 200 mm pour les conduites. Ceci permet d'avoir des réserves dans le cas d'une réduction de la section d'écoulement due à des incrustations.

Le percement vertical de l'étanchéité de base par des conduites ou des regards est interdit. Le percement horizontal au niveau du talus est à appliquer de telle façon à ne pas endommager le système de drainage et l'étanchéité par des différences de tassement.

Conduites de drainage	Recommandation
Matériau	PEHD, résistance aux substances agressives
Diamètre nominal	200 $\varnothing$ mm (300 $\varnothing$ mm pour l'inspection par caméra)
Longueur de section	max. 300 m
Déclivité longitudinale	1,0 $\varnothing$ ‰
Ecart entre les conduites	~30 m (< 50 m)

Tableau 6: Recommandations pour les conduites de drainage

Dimensionnement des conduites (*épaisseur des parois*) en fonction de la charge de recouvrement à laquelle elles sont soumises Dans ce contexte, deux cas de charge différents doivent être pris en compte, à savoir:

- Cas de charge 1: Pose (*circulation d'engins lourds comme des rouleaux compacteurs*) sur les conduites,
- Cas de charge 2: Remplissage définitif de la décharge, charge de l'étanchéité de surface comprise

Un dimensionnement trop optimiste des parois des conduites peut se solder par une défaillance complète du système d'évacuation.

Note : les conduites fréquemment utilisées sont des PN 16 (*résistant à une pression nominale de 16 bars*)

SUPPORT DES CONDUITES

Il est recommandé de poser les conduites de drainage sur un lit de sable aménagé dans une tranchée de drainage (*léger dénivelé*).

Les graviers enrobant les conduites doivent être ronds et leur calibre le plus faible doit être supérieur aux perforations (*trous ou fentes*) de la conduite. Si des graviers ronds ne sont pas disponibles, il faut utiliser des conduites spéciales, résistantes au poinçonnement (*resist to crack ou similaires*).

Conception

- Les conduites de drainage de lixiviats doivent être posées selon un tracé linéaire.
- Prévoir (*dans la mesure du possible*) une disposition des conduites en sections hydrauliquement indépendantes
- Dans la mesure du possible, acheminement des lixiviats gravitairement jusqu'aux bassins de rétention, de stockage des lixiviats
- Les conduites de lixiviats doivent être accessibles de préférence par les deux extrémités (*au minimum par l'extrémité au point bas*).
- Au moins deux bassins de rétention (*redondance*) doivent être prévus afin de permettre une vidange et un entretien en alternance de chacun d'entre eux.

La perforation des conduites de drainage est essentielle pour la bonne évacuation des lixiviats. Deux formes de perforation sont présentées par la figure suivante.

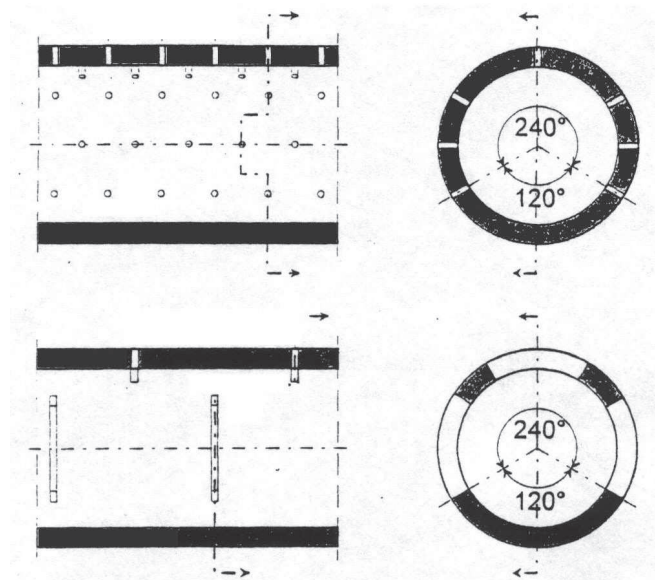


Figure 29 : Perforation des conduites de drainage [9]

Perforée (sur 2/3 (240°)); ou fissuré (fentes minimum 5 mm x 25 mm) (Attention : veiller à sélectionner la granulométrie des graviers de la tranchée de drainage enrobant la conduite en conséquence)

LES REGARDS DE COLLECTE ET DE CONTRÔLE

Les regards de collecte sont des édifices par lequel les lixiviats sont transmis aux conduites de collecte se trouvant en dehors du casier. Ces regards ont une fonction de jonction (*branchement des conduites*) mais doivent servir aussi au contrôle et à la maintenance des conduites de drainage.

Lors du dimensionnement de ces regards, les aspects suivants sont à prendre en considération:

- Les regards ne doivent pas être construits à l'intérieur du casier
- Les regards doivent être résistants aux matières nocives des lixiviats et ils doivent être étanches. Ils doivent permettre l'examen complet du système de drainage (*échantillonnage, contrôle de niveau etc.*).
- L'aboutissement des conduites de drainage vers les regards doit être protégé contre l'afflux d'air. La jonction des conduites doit être fermée (*recommandé*).

En cas de passage ouvert (*passage en entre deux conduites*), l'afflux d'air peut être évité à l'aide d'un dispositif de siphons.

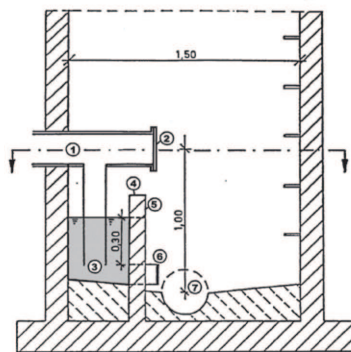


Figure 30: Regard des lixiviats avec dispositif de siphon

- Le regard doit être aéré pour éviter une concentration de gaz potentiel à l'intérieur du regard.
- Tous les puits doivent avoir des dimensions suffisantes pour les travaux de contrôle et de maintenance.

Le diamètre intérieur doit être au minimum 1,50 m, l'ouverture d'entrée doit avoir un diamètre minimal de 1 mètre.

- Les travaux de maintenance doivent pouvoir être effectués dans des conditions de sécurité absolue et dans un environnement propre.

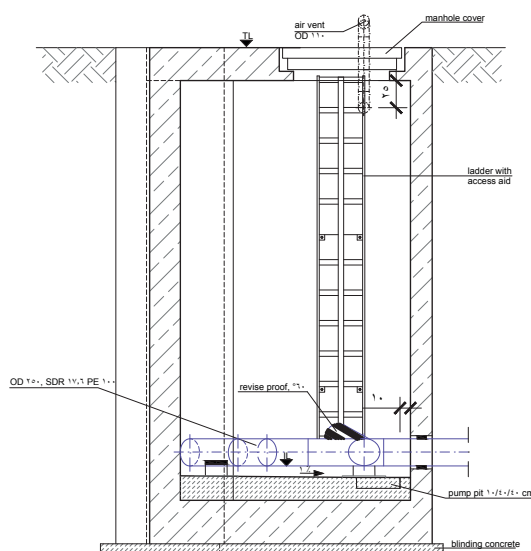


Figure 31: Regard de maintenance et de contrôle des lixiviats (coupe type en APS) [1]

Le regard peut être construit en béton étanche (lors d'un passage des conduites fermé). En cas d'un regard siphonoïde (passage ouvert entre les conduites), il est recommandé d'utiliser des regards en PEHD (préfabriqué).

Equipements indispensables : puisard de sécurité en cas de fuite, échelle d'accès selon les normes de sécurité en vigueur, aération/ventilation de secours, dispositif de prise d'échantillon, vannes de fermeture.

LES CONDUITES DE COLLECTE ET DE TRANSPORT

Il est recommandé de planifier le drainage et le transport des lixiviats, dans la mesure du possible, par gravité jusqu'au traitement (bassin de stockage). Cette condition permet en effet de garantir que l'évacuation des lixiviats ne sera pas entravée (dans le cas de panne d'électricité par exemple au niveau d'une station de pompage, de plus les stations de pompage présentent des coûts d'acquisition et de maintenance supplémentaires).

Les conduites de collecte et de transport (à l'extérieur du casier) sont des conduites en PEHD pleine (non perforée, non fissurée) de diamètre supérieur à ceux à l'intérieur du casier (car transportant un débit plus important). Elles doivent être dimensionnées par un calcul hydraulique. Leurs pressions nominales doivent être dimensionnées en fonction de leur enfouissement dans le terrain, de la pression statique (hauteur de recouvrement) et hydraulique (lixiviats).

Le PN (pression nominale) des conduites de collecte et de transport (extérieur du casier) est souvent inférieur à celui des collectes de drainage à l'intérieur (PN 16)

ÉDIFICE DE PASSAGE DE DIGUE

Le passage et le raccord des conduites de drainage (à l'intérieur du casier) aux conduites de collecte et de transport ainsi qu'au regard de maintenance et de contrôle constituent le point le plus critique dans la conception et la mise en œuvre. Cette zone est particulièrement sensible à une exfiltration des lixiviats.

Une très grande rigueur doit être attachée à la conception de ce passage ainsi que pendant le suivi de sa mise en œuvre par l'entreprise de réalisation. Des édifices en préfabriqué ou réalisé in situ permettent un raccordement efficace tout en gardant les principes d'étanchéité requis pour le casier

Quatre solutions sont couramment retenues :

- Raccordement de la géo-membrane sur massif béton

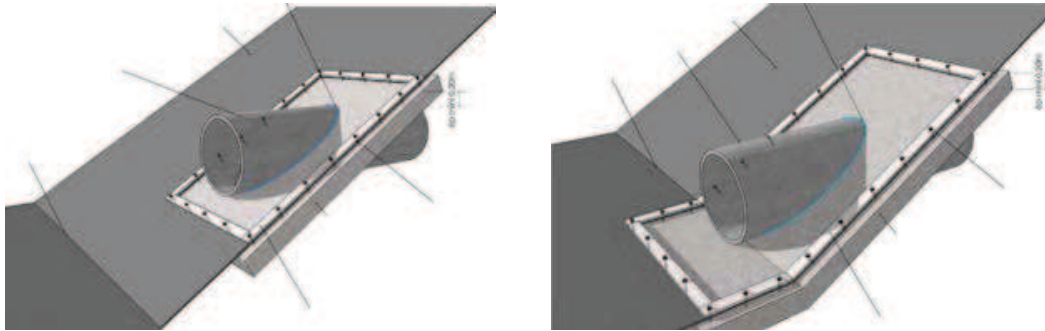


Figure 32: Raccord sur massif béton [10] Figure 33: raccordement avec manchon [10]

- Systèmes brides contre-brides avec joint compatible chimiquement avec les lixiviats
- Manchon (éventuellement préfabriqué) en géo-membrane habillant l'extrémité de la canalisation et assemblé sur la membrane en partie courante.

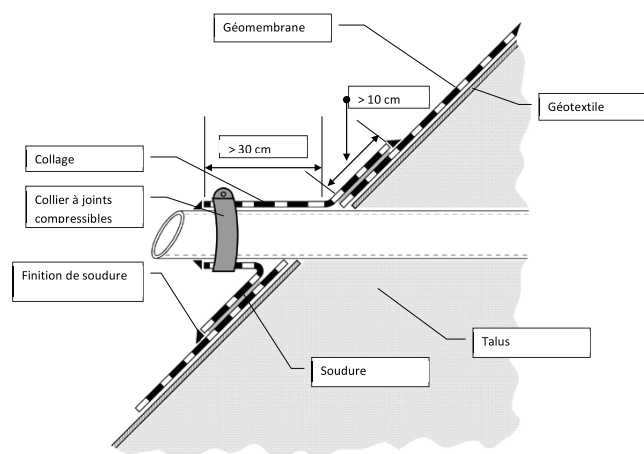


Figure 33: Raccordement avec manchon [10]

- Raccordement sur des pièces chaudronnées préfabriquées de même nature chimique que la géo-membrane.

Ces principes de conception sont aussi valables pour les bassins de stockage, de lagunage ou d'évaporation des lixiviats.

L'ensemble de l'installation de drainage et de collecte des lixiviats est conçu pour limiter la charge hydraulique à 30 cm en fond des casiers et permettre l'entretien et l'inspection des drains.

TRAITEMENT DES LIXIVIATS

Le traitement des lixiviats constitue l'aspect le moins maîtrisé actuellement au niveau des CET. Cela englobe aussi bien la conception, que l'exécution et par conséquent l'exploitation.

De par la constitution des déchets et en absence de prétraitement à l'amont (*compostage, traitement mécano-biologique*), l'environnement reste fortement exposé à une contamination et à une dégradation dues aux rejets (*lixiviats*), souvent incontrôlés, sans traitement adéquat.

Certains aspects relèvent de la politique et d'une stratégie à court et à moyen terme. Aussi, des techniques d'exploitation peuvent atténuer ces risques. Mais les aspects techniques restent primordiaux.

Si les moyens budgétaires ne suffisent pas, il est préférable de diminuer sur la longévité du casier que de ne pas réaliser un système de traitement des lixiviats efficaces.

SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

Dans la mesure où la production de lixiviats ne peut pas être évitée ou réduite, les spécifications techniques suivantes sont à mettre en œuvre graduellement :

- Collecte et stockage temporaire in situ
- Prétraitement biologique et/ou physico-chimique in situ
- En alternative ou en supplément (*si possible*) : transport des lixiviats prétraités vers une station d'épuration (*STEP*) (vérification des conditions légales de rejets, relation contractuelle avec l'exploitant de la *STEP* (*p-ex : ONA*),
- Seconde alternative : identification et acheminement vers une installation de traitement des eaux usées industrielles (*Vérification des conditions techniques et des normes de rejet, contrat avec l'exploitant de l'installation (privé)*)

Le transport s'effectuera au moyen de citernes ou par des conduites à pression (*si l'installation de traitement est à proximité*). Le dimensionnement et les coûts de réalisations sont bien sûr à prendre en considération. Les conditions techniques et environnementales sont à élaborer en étroite concertation avec les autorités compétentes (*ANRH, ANB, DEW, etc.*).

Dans certaines régions de l'Algérie (*steppe et le grand sud*), les conditions climatiques peuvent favoriser le traitement par évaporation. Le dimensionnement des bassins est présenté par la suite.

Recirculation et ré-aspiration des lixiviats sur la zone d'enfouissement

Cette solution peut être aussi envisagée pour des zones semi-arides ou arides où les conditions d'évaporation sur les zones d'enfouissement sont favorables

Cette solution peut être aussi utilisée comme solution intermédiaire (*temporaire*) ou provisoire (*lors de maintenance*) mais nullement comme solution durable car la teneur en eau des déchets enfouis est déjà très élevée.

Toute recirculation des lixiviats conduit en effet à une augmentation de leur quantité et de leur concentration en polluants et, de surcroît, elle constitue un facteur de risque pour la stabilité du casier

STOCKAGE DES LIXIVIATS

Une bonne stratégie d'amélioration de la qualité de l'eau commence par une gestion raisonnée des intrants et l'aménagement de zones tampons efficaces. Pour améliorer le bilan environnemental, des structures complémentaires telles que des bassins de stockage et de sédimentation peuvent être aménagés pour capter les particules en suspension contenues dans les lixiviats.

Les bassins sont conçus pour diminuer la charge de particules en suspension dans les cours d'eau récepteurs et intercepter, si possible, une partie des nutriments. Plus le débit à gérer est élevé ou la taille des particules visées est faible, plus les dimensions du bassin devront être importantes. En pratique, ces bassins sont généralement dimensionnés pour capter les particules moyennes et les particules plus grossières.

CALCUL DE LA SURFACE MINIMALE DU BASSIN DE STOCKAGE ET DE SÉDIMENTATION

Les vitesses de sédimentation (V_p) sont généralement calculées grâce à la loi de Stoke, indiquée à l'équation 1, à partir de la masse volumique de la particule, de son diamètre et de la densité du fluide dans lequel elle se trouve.

Equation 1

$$VP = [g \times (pp-pe) \times d^2] / [18 \times h]$$

Vp : Vitesse de chute verticale de la particule (m/s)

g : Accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)

pp : masse volumique réelle de la particule (kg/m³, entre 2325 (argile) - 2700 (sable grossier) kg/m³)

pe : Masse volumique de l'eau (1000 kg/m³)

d : Diamètre des particules à sédimenter (m, entre 0,002 (argile) - 0,5 (sable grossier) mm attention à l'unité)

h : viscosité dynamique de l'eau à 4°C (0,0016 Pa.s)

Le choix des masses volumiques et du diamètre est laissé à la latitude du BET

La surface minimale du bassin est calculée par l'équation 2

Equation 2

Calcul de la surface minimale du bassin en eau

$$AS = (Q \times K) / Vp$$

AS : surface minimale du bassin en eau (m²)

Q : Débit (quantité) des lixiviats (m³/s, attention à l'unité) calculé selon les méthodes présentées dans le chapitre « quantité de lixiviats »

K : facteur d'ajustement lié aux turbulences (1, 1,2 ou 1,5) selon l'importance des turbulences dans le bassin laissé à l'appréciation du BET

VP : vitesse de sédimentation (m/s)

Lors de la conception d'un bassin de stockage et de sédimentation, une forme allongée est recommandée (ratio longueur/largeur supérieure à 2) pour favoriser un écoulement de type piston dans le bassin. La largeur de la surface de l'eau (W) peut être calculée grâce à l'équation 3 pour un canal trapézoïdal, puis la longueur minimale du bassin (l) par l'équation 4. La profondeur d'eau P est choisie au départ par le concepteur et représente la hauteur d'eau prévue dans le bassin avant surverse, en fonction de la topographie du champ ou du fossé existant.

Equation 3

Calcul de la largeur de la surface de l'eau

$$W = L + 2 \times P \times Z$$

Equation 4

Calcul de la longueur minimale du bassin

$$l = AS / W$$

W : largeur de la surface de l'eau (m)

L : Largeur au fond du bassin (m)

P : Profondeur d'eau dans le bassin en opération (m)

Z : Pente des talus (par exemple pour 1 : 2, z= 2)

l : Longueur minimale du bassin (m)

AS : Surface minimale du bassin en eau (m²) selon équation 2

Le bassin de stockage des lixiviats doit être dimensionné de façon à ce qu'une capacité de rétention reste suffisante même en cas de panne d'électricité ou de défaillance d'une pompe. De préférence les bassins doivent être conçus en redondance (double) pour permettre une maintenance sans interruption. Si ceci n'est pas possible alors des citernes de stockage temporaire (capacité débit x 5 jours) doivent être disponibles. Ces citernes doivent être insensibles aux lixiviats (PEHD).



Image 4: Exemple de citernes de stockage temporaires des lixiviats

Les bassins de rétention et les réservoirs de stockage sont généralement placés en contre-bas du site (*au point bas*) pour permettre un écoulement en gravitaire. Ces bassins (*ou réservoirs*) ont une fonction de compensation en ce sens qu'ils stockent les volumes de lixiviats irrégulièrement produits en offrant parallèlement une capacité tampon qui permet de prévenir des défaillances éventuelles des installations à l'aval (*pompes, station d'épuration des lixiviats etc.*). Cela permet d'éviter une accumulation de lixiviats ou un débordement de ces derniers de manière incontrôlée jusqu'à que ce que les installations défaillantes soient remises en service.

Le choix des citernes de stockage temporaire est limité par le volume maximal produit. Actuellement, les plus grandes citernes ont une capacité maximale de 60 m³ (60.000 l), ce qui veut dire que ce genre de réceptacle provisoire peut être utilisé que pour des sites produisant un débit de lixiviats d'environ 10 m³/j.

DIMENSIONNEMENT DES BASSINS DE RÉTENTION

Étant donné que la réparation d'une installation d'épuration des lixiviats ou le remplacement d'une pompe défectueuse peut demander un certain temps, il est proposé de prévoir, pour chaque réservoir de stockage, un volume minimum correspondant à :

- Au moins pour vingt jours de la production moyenne maximale de lixiviats, ou
- Au moins cinq jours de la production absolue maximale.

Par production moyenne maximale de lixiviats, il convient d'entendre la production enregistrée dans des conditions d'exploitation et climatiques normales, avec un site complètement aménagé (*extension maximale*). La production maximale de lixiviats est la production qui peut être relevée à court terme après de fortes pluies.

Règle de conception :

La zone de traitement des lixiviats en général (*bassin de stockage, de sédimentation, citerne de stockage temporaire, station de pompage éventuelle, installation de traitement etc.*) doit être clairement délimitée par une clôture grillagée et l'accès doit être restreint au personnel d'exploitation. Les consignes de sécurité sont à identifier et à appliquer (*panneau, etc.*)

Les bassins de stockage sont conçus pour les lixiviats bruts arrivant directement sans traitement de la zone d'enfouissement. Toute fuite peut entraîner une infiltration et une pollution du sous-sol. Ils doivent être étanchéifiés avec les mêmes précautions que celles applicables au casier lui-même. Par conséquent, une étanchéité combinée argile/géo-membrane est recommandée. Seule différence avec le casier : puisqu'il n'y a pas de structure drainante et que le médium de stockage est liquide, les mesures de protection en géotextile ne sont pas nécessaires afin de protéger la géo-membrane contre l'envol, un renforcement avec des dalles en béton posées sur un lit de sable ou de mortier peut être envisageable.



Image 5: Exemple d'un bassin de stockage des lixiviats

BASSIN D'ÉVAPORATION

Les bassins d'évaporation présentent une forme particulière du bassin de stockage. Ils doivent être suffisamment dimensionnés (temps de rétention) pour permettre l'effet naturel de l'évaporation. Les principes de conception sont les mêmes que pour les bassins de stockage (*redondance, étanchéité, etc.*).

En principe dans les régions où le rapport précipitations/ évaporation est de l'ordre de 1/5 (*par exemple avec des précipitations de 300 mm/an pour une évaporation de 1 500 mm/a*), la mise en œuvre de bassins d'évaporation est une solution envisageable.

Base d'un dimensionnement efficace est la période au cours de laquelle la production de lixiviats pourra être compensée par l'évaporation (*période de bilan*). A cette fin, des données pluviométriques et des données sur l'évaporation mensuelle doivent être disponibles. La durée maximale de cette période de bilan ne doit pas être supérieure à 12 mois.

La surface d'évaporation requise et, par conséquent, la taille et la profondeur des bassins d'évaporation sont calculées sur la base des données pluviométriques et d'évaporation.

Le principe appliqué pour le dimensionnement des bassins d'évaporation est le même que celui prévu pour dimensionner les bassins de rétention de lixiviats. Tous les débits entrants (*apports en lixiviats et autres eaux usées*) et tous les débits sortants (*évaporation*) sont calculés avec l'élaboration d'un bilan hydrique pour pouvoir déterminer la surface et la capacité requises pour le bassin.

Du point de vue technique, les bassins d'évaporation sont caractérisés par une grande surface de bassin et une faible profondeur (*environ 1,0 m hauteur d'eau avec 0,5 cm d'hauteur de sécurité*), étant donné que les lixiviats ne peuvent s'évaporer qu'en surface. (*Attention : lors du dimensionnement, il faut aussi tenir compte du volume de précipitations susceptibles de tomber sur les bassins, lesquelles doivent également être évaporées*).

Dans le cas où l'évaporation serait entravée par des barrières telles que la présence d'un film d'huile en surface, il faut éliminer ces barrières par brassage, par pompage ou autres mesures (*mesure de gestion*).

Pour que les bassins présentent un dimensionnement suffisant, il faut réduire l'évaporation potentielle (*l'évaporation réelle étant plus faible que l'évaporation potentielle*), effectuer les calculs avec des quantités correspondant aux précipitations en année humide (*année à forte pluviométrie*). Si les données ne sont pas disponibles, alors il faut multiplier les données moyennes par un facteur de pointe (1,25). Par ailleurs, il s'est avéré judicieux de baser les calculs sur au moins trois années ou plusieurs années consécutives comprenant des années de pluviométrie normale et des années humides afin de garantir le remplissage (*apports*) et le vidage (*écoulement ou évaporation*) des bassins (*voir la période de bilan à durée limitée*).

BASSIN DE LAGUNAGE

Une autre forme de bassin «à ciel ouvert» actuellement, le procédé le plus utilisé en Algérie est le traitement par bassin de lagunage. Les expériences actuelles ne sont pas concluantes car de nombreuses lacunes techniques ont été constatées :

- Sous-dimensionnement (*temps de rétention*)
- La redondance en cas de maintenance n'est pas prise en considération
- Le lagunage est prévu en théorie par une série de bassins en cascade et en série (*parfois 2, parfois 3*) mais les bassins suivants le premier bassin ne présentent aucune caractéristique particulière pour l'élimination de substances polluantes

En conséquence : les lixiviats traversent les bassins sans traitement particulier (*légère retenue des matières en suspension*) et sont rejetés quasiment de manière brute dans le milieu naturel.

Règle de conception

Il est à noter que le lagunage ne peut présenter uniquement une solution provisoire ou un prétraitement au vue de la qualité des lixiviats en Algérie.

Le premier bassin doit suivre les règles de conception pour bassin de stockage et sédimentation présenté ci-dessus.

Le deuxième bassin doit être dimensionné pour permettre un premier traitement biologique. Le dimensionnement d'aérateurs de surface est fortement recommandé.

Le troisième bassin peut être envisagé comme bassin de finition avec éventuellement un traitement par roseaux.

Le traitement par lagunage ne peut présenter qu'une solution intermédiaire ou préliminaire (*en association avec d'autres traitements*). Son efficacité et son rendement pour le type de lixiviats en Algérie ne sont pas avérés.

Tous les bassins doivent répondre aux exigences en matière d'étanchéité telle qu'énoncées ci-dessus.

Acheminement et traitement des lixiviats dans une STEP communale

Du point de vue environnementale, la solution minimale envisageable est de transférer les lixiviats sur une station de traitement des eaux usées communales après un prétraitement in situ (*bassin de sédimentation, de lagunage ou autres*) que de rejeter les lixiviats directement en milieu naturel.

Bien sûr, la station d'épuration communale doit être suffisamment dimensionnée pour permettre un co-traitement des lixiviats. Pour le traitement des eaux usées communales, les calculs doivent tenir compte de l'équivalent-habitant (*éq. hab.*) de la station en fonction de la production de lixiviats et en tenant compte de la charge en matières organiques (*DBO/DCO*) et de la quantité d'eaux usées.

CHOIX DU TRAITEMENT DES LIXIVIATS

Le tableau suivant présente la comparaison des différents types de traitement des lixiviats en fonction de certains critères de décision :

- Conditions climatiques
- Besoin en surface
- Matériaux de construction
- Besoin en énergie
- Maintenance, investissement etc.

Il peut servir comme première aide à la décision et au choix du traitement. Le dimensionnement devra se faire selon les normes en vigueur nationales ou internationales.

Critères d'influence				
	Recirculation des lixiviats	Distillation solaire	Traitement biologique	
			Lagunes aérées	Lagunes aérées
Conditions climatiques	adaptable pour un climat sec	très bonne adaptation pour un climat sec et chaud (Steppe et Sahara)	climat ne doit pas être trop chaud sinon problème avec le rendement	climat ne doit pas être trop chaud sinon problème avec le rendement
Besoin en surface	faible	très élevé	très élevé	très élevé
Mat. de construction	Facilement dispo	Facilement dispo	Facilement dispo	Facilement dispo
Coûts d'exploitation	faible	faible	faible à moyen	faible à moyen
Produits chimiques	-	-	-	-
Consom. d'énergie	peu	-	-	moyen
Pièces de rechange	Difficil. dispo	Disponible	Disponible	Difficil. dispo
Maintenance	faible	faible	faible à moyen	faible à moyen
Besoin en personnel	peu	peu	peu	moyen
Formation du personnel	F. de base	F. de base	F. de base	F. Moyenne
Phase de démarrage	aucune	aucune	aucune	aucune
Sécu de fonctionnement	Sécurité élevée	encore peu d'expérience à ce sujet mais principe simple donc sécurité élevée probable	Très élevée	Très élevée

Tableau 7: Tableau comparatif des différents traitements de lixiviats (aide à la décision)[5]

Procédés				
	Précipitation floculation	Adsorption charbon actif	Osmose inverse	Oxydation à l'ozone
Boues activées				
climat ne doit pas être trop chaud sinon problème avec le rendement	-	-	-	-
moyen à élevé	moyen	moyen	moyen	moyen
Facilement dispo	Facilement dispo	Facilement dispo	Difficilement dispo	Difficilement dispo
élevés	moyen	moyen	élevés	élevés
-	FeSO ₄ ou d'Alu	charbon actif	-	ozone
moyen à haut	peu	peu	haut	haut
Difficil. dispo	Difficil. dispo	Difficil. dispo	Difficil. dispo	Difficil. dispo
moyen	faible	moyen	élevés	élevés
moyen	peu	moyen	moyen	fort
F. Moyenne	F. de base	F. Moyenne	F. Intense	F. Intense
qlqs semaines	aucune	aucune	aucune	aucune
Sécurité élevée	Moyen à élevée	Très élevée	Très élevée	Sécurité élevée

DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION DE TRAITEMENT LIXIVIATS

Les caractéristiques des lixiviats observés en Algérie (*surtout dans les grandes zones urbanisées du nord*) laissent envisager, du point de vue technique, la mise en œuvre des procédés de traitement suivants (*les procédés peuvent aussi être combinés*)

- Flottation (*traitement physico-chimique*)
- Épuration biologique suivie d'une ultrafiltration
- Osmose inverse

L'ampleur du procédé appliqué dépend en majeure partie des conditions légales de rejet/déversement direct ou indirect.

Pour le dimensionnement de l'installation de lixiviats, il est nécessaire de disposer des données de base indiquées ci-dessous.

- Débits prévisionnels de lixiviats
- Concentration prévisionnelles des lixiviats
- Capacité des/du bassin de rétention des lixiviats
- Seuils de rejet à respecter
- Heure de travail/d'exploitation du site (*les lixiviats affluent sans interruption, si la station de traitement ne travaille pas 24/24, les bassins tampons sont à dimensionner en conséquent*)
- Agencement de l'installation sur le site : réseaux (*connexion électrique, eau de processus, surface disponible, point de rejet des eaux traités, etc.*).

Paramètres	unité	Valeurs maximales
pH	-	compris entre 6,5 et 8,5
MES	mg/l	40
COT		20
DCO		50
DBO ₅		15
NTK		40
Phosphore total		2
Phénols		0,1
Hydrocarbures		5
Pb (plomb)		0,2
Cu (Cuivre)		0,2
Cr (Chrome VI)		0,1
Ni (Nickel)		0,1
Zn (Zinc)		0,2
Manganèse		0,1
Cd (Cadmium)		0,1
Hg (Mercure)		0,05
Fer		4
Aluminium		0,5
Arsenic		0,05
Cyanures Libres		0,1
Fluor et composés (en F)		15
AOX		1

Tableau 8: Tableau des normes de rejets après traitement (lixiviats)

LES EAUX DE SURFACE

COLLECTE DES EAUX DE SURFACE

Parmi les éléments de conception d'un centre d'enfouissement technique, font partie également les infrastructures de collecte et d'évacuation des eaux de pluies. Les zones d'enfouissement sont particulièrement sensibles à une entrée d'eaux. Toute quantité d'eaux pluviales et d'eaux superficielles pouvant s'accumuler aux pieds de digue sur les bermes au niveau des voies de circulation augmentent les risques d'instabilité ou de dommage.

Une gestion adéquate des eaux de surface peut aussi diminuer la production de lixiviats. Ceci a un impact positif sur le dimensionnement des installations de traitement. En effet par une gestion du casier en alvéoles hydrauliquement indépendant, une grande partie des eaux de pluies qui tombent sur les zones non-exploitées peut être dérivée sans traitement dans son milieu naturel.

Règle de conception :

Point essentiel de conception sont les paramètres pluviométriques ainsi que les surfaces couvertes du site. La topographie du site délimite le sens d'écoulement et le point d'évacuation. Si le milieu récepteur à proximité du site ne peut pas être sollicité directement par un rejet direct, alors il est nécessaire de prévoir ici aussi un bassin de rétention tampon des eaux pluviales.

Avantage d'un bassin de rétention : Il peut être utilisé aussi comme bassin d'eau anti-incendie.

Les mesures suivantes sont à prendre en considération lors du dimensionnement des infrastructures de captage des eaux superficielles

- Phasage de l'exploitation. Exploitation du ou des casiers en zone hydrauliquement indépendant (*raccord des conduites de collecte avec vannes pour évacuer les eaux accumulées dans des zones non exploitées (eaux propre) directement vers le milieu naturel*)
- Système de collecte des eaux superficielles autour des surfaces étanches (*bâtiments, routes asphaltées, etc.*) par un système d'avaloirs
- Système de collecte des eaux superficielles à la périphérie des casiers d'enfouissement
- Acheminement des eaux vers un bassin de rétention/tampon des eaux pluviales

LES EAUX SOUTERRAINES

CONTRÔLES DES EAUX SOUTERRAINES

Dans le cas de présence d'eaux souterraines (*nappe phréatique*), il est recommandé d'établir un réseau de contrôle et d'observation des eaux souterraines moyennant des piézomètres.

Spécifications techniques

Un minimum de 3 piézomètres arrangés en triangle hydraulique (*un en amont, deux en aval*) doit être conçu

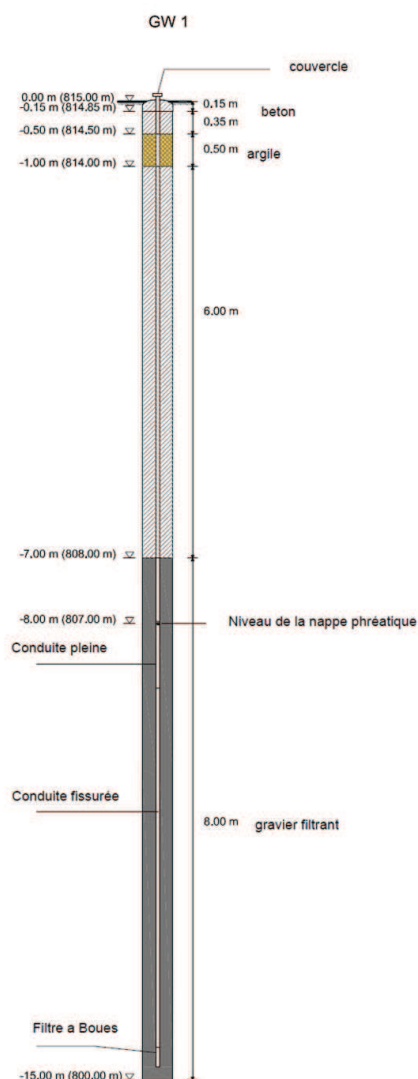


Figure 34: Puits d'observation des eaux souterraines (piézomètre)



Image 6: Puits d'observation/piézomètre (couvercle)

Les mesures et les fréquences de contrôle relèvent du domaine de l'exploitation.

BÂTIMENTS ET INFRASTRUCTURES

Dans le cadre de l'Avant-Projet Sommaire après la délimitation du site, après avoir défini la surface optimale de la zone d'enfouissement et de la zone de traitement des lixviats, le maître d'œuvre devra agencer et prédimensionner les bâtiments ainsi que les infrastructures annexes.

Les bâtiments et infrastructures que l'on retrouve sur un Centre d'enfouissement technique de classe 2 sont :

- Un poste d'accueil et de pesée des déchets arrivants
- Des bureaux administratifs pour le directeur du centre, la comptabilité et autres fonctions (*archivage, relation avec le public, etc.*)
- Une structure pour la maintenance des équipements (*hangar de maintenance*)
- Une structure sociale pour le personnel (*vestiaires, douches, sanitaires, structure de repos et commodités pour les pauses de travail*)
- Parkings
- Les voies de circulation
- Les zones d'emprunts de matériau de recouvrement

Certaines structures sont complémentaires et parfois nécessaires pour garantir une meilleure exploitation du site :

- Un laboratoire
- Une installation de lavage des roues de véhicules lourds
- Une station essence

Les aménagements annexes sont :

- Les installations d'aménagement en eau potable (*conduite, surpresseur, bêche ou citerne à eau potable*)
- Les installations d'assainissement (*fosse septique, canalisation, éventuellement station de traitement des eaux usées, etc.*)
- Les installations d'aménagement électriques ou énergétiques (*ligne de basse tension, transformateur, groupe électrogène, raccord au gaz naturel etc.*)

Il est recommandé au maître d'œuvre d'élaborer une check list afin de ne rien oublier. Souvent le maître d'œuvre doit concevoir un site vierge loin de toutes infrastructures communales. La prise en considération d'une gestion autonome du site permet elle aussi de faire des économies.

L'agencement général des bâtiments doit permettre une bonne et étroite communication entre les différents postes de travail. Il doit, lui aussi, permettre une optimisation des surfaces tout en garantissant une gestion professionnelle des flux.

POSTE D'ACCUEIL ET DE PESÉE

Le poste d'accueil et de pesée est un élément essentiel dans la gestion du site. Il présente le premier poste de contrôle des déchets entrants et, par conséquent, doit être dimensionné pour garantir une acceptation et une pesée efficace des flux.

Le poste d'accueil lui-même doit être conçu afin de garantir des conditions de travail adéquates pour l'employé

Les normes recommandées pour de bonnes conditions de travail sont de 8 m²/Personne y inclus le mobilier avec la condition que l'employé ait au minimum 1,5 m² d'espace de circulation pour une hauteur de 2,5 m de la pièce.

Le maître d'œuvre devra donc aussi réfléchir, en fonction de la taille du site sur le personnel à employer.

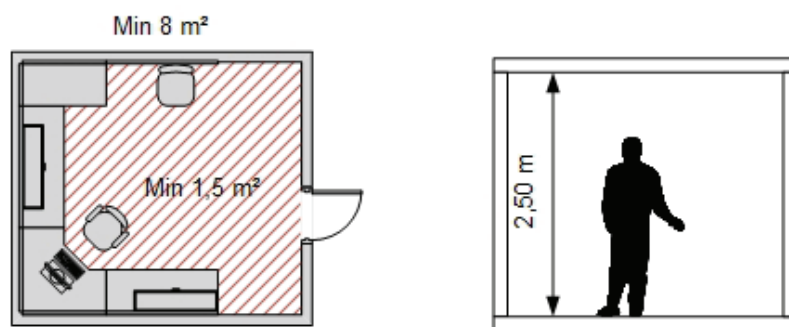


Figure 35: Aide à la conception des bureaux

Le pont bascule devra être dimensionné en fonction du type de camions entrants et de la fréquence). En cas d'une forte affluence, du type de flux et de déchets arrivant et sortant (*installation de tri*), il sera nécessaire de prévoir deux ponts-basculés (*un pour les flux entrants, l'autre pour les flux sortants*) ainsi que des zones tampons pour canaliser les flux (*voir partie voirie*).

Il est recommandé de concevoir le poste d'accueil en surélévation afin que le contact entre le chauffeur du véhicule et l'agent chargé de la pesée puisse se faire par la fenêtre du poste sans que l'agent sorte de son bureau.

Il est aussi recommandé de concevoir une toiture au-dessus du pont bascule pour qu'il soit à l'abri des intempéries (*surtout les parties sensibles du pont bascule tel que les cellules de pesée, attention à bien planifier la hauteur de la toiture en fonction des véhicules entrant et sortant*)

Le poste d'accueil est une structure du génie civil et doit être dimensionné selon les normes en vigueur de construction.

Sa structure peut être en dur (*brique, béton etc.*) ou en préfabriqué. Les CET étant des sites dynamiques avec une durée de vie limitée, le préfabriqué est de plus en plus préféré pour des raisons économiques.

Il doit être suffisamment éclairé, chauffé (*en période hivernale*) et climatisé (*en période estivale*). L'isolation sonore par un double vitrage est plus recommandée.

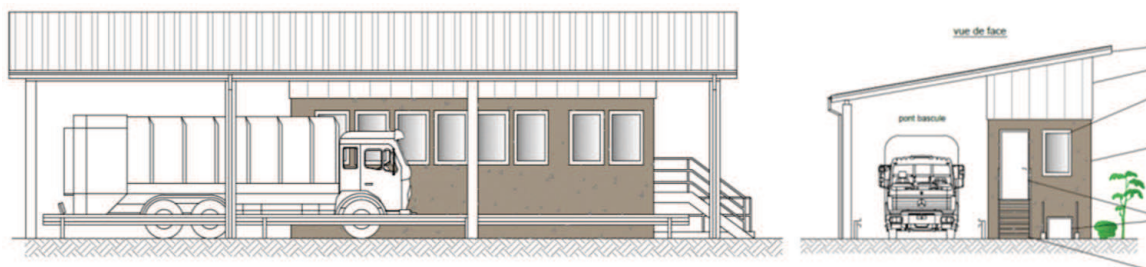


Figure 36: Esquisse d'un bâtiment d'accueil avec pont-basculé (APS) [1]

En surélévation

- Meilleur contact avec les chauffeurs
- Meilleur contrôle des camions bennes ouvertes

Toiture de protection du pont-basculé

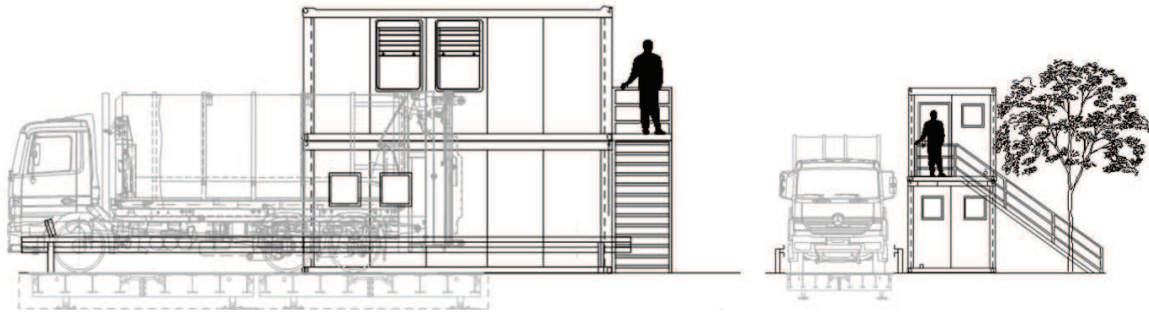


Figure 37: Esquisse alternative pour bâtiment d'accueil

Éléments en préfabriqué/conteneur

Premier étage : administration

Deuxième étage : vestiaires et sanitaires

Recommandé pour petit CET à budget limité

BÂTIMENT ADMINISTRATIF

L'administration du site doit être conçue en fonction de la taille et de l'importance du CET. Comme pour le poste d'accueil, sa conception doit garantir de bonnes conditions de travail pour l'employé. Malgré les dispositions qui sont prises pour atténuer les nuisances, le CET reste une installation de traitement des déchets et par conséquent, un environnement et un cadre de travail difficile.

La position de l'administration doit être stratégique et, si les conditions topographiques du site le permettent, en surélévation afin de dominer le site et d'avoir un contrôle total sur la zone d'enfouissement.

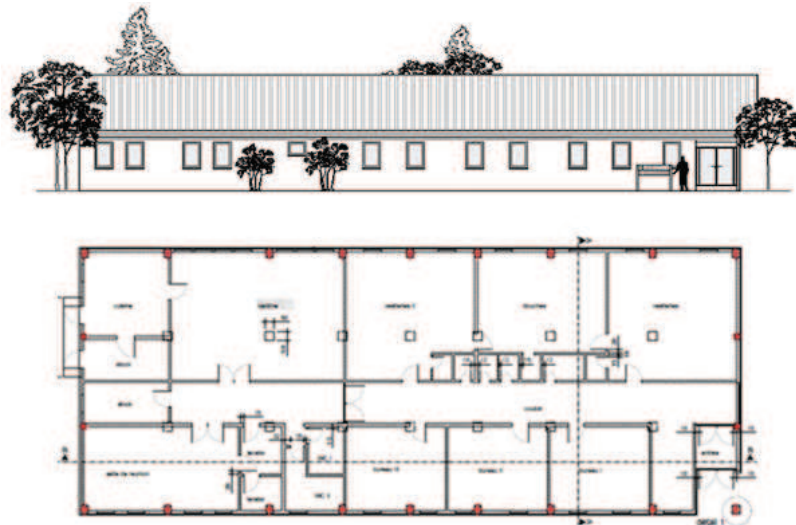


Figure 38: Exemple d'un bâtiment administratif (en APS)

C'est surtout ici que l'architecte du maître d'œuvre intervient. Il doit développer des bâtiments fonctionnels et s'intégrant dans le paysage naturel avec les spécificités régionale (*architecture locale, etc.*). En coopération avec le maître de l'ouvrage et de préférence avec l'EPIC de gestions, il doit définir la fonctionnalité des postes de travail, le nombre de pièces et de bureaux ainsi que les espaces.

Les pièces doivent être suffisamment éclairées, chauffées (*en période hivernale*) et climatisées (*en période estivale*). L'isolation sonore par un double vitrage est recommandée pour les bâtiments exposés au trafic des camions et aux travaux d'enfouissement etc.

Un bâtiment administratif doit comporter au minimum

- Un bureau pour le directeur du site
- Un bureau pour la compatibilité
- Une salle de réunion
- Une pièce pour la documentation et l'archive
- Des sanitaires (*pour homme et pour femme séparés*)

Au cas où les structures sociales se trouvent dans le même bâtiment

- Les vestiaires des employés séparés en partie « blanche »/partie « noire »
- Les sanitaires pour employés du site
- L'espace de pause et repos des employés (*cuisine avec espace pour déjeuner*)

Pour des CET importants, des structures pédagogique et de communication peuvent être envisagées :

- Bureau de la personne chargée des relations publiques
- Salle d'exposition et de sensibilisation du large public

STRUCTURES SOCIALES

Les employés travaillant au niveau de la zone d'enfouissement (*chauffeurs d'engins, aiguilleurs, personnel de tri, etc.*) ainsi qu'au niveau de la maintenance sont les plus exposés aux nuisances du site et, par conséquent, nécessite des infrastructures sociales répondant aux meilleures normes en matière de qualité et de sécurité de travail. Ces infrastructures peuvent se trouver au niveau du bâtiment administratif central ou dans un bâtiment annexe.

Les vestiaires et installations de douches doivent être conçus selon le principe de la zone « **blanche** »/zone « **noire** ». La zone blanche est la zone dans laquelle se trouvent les vêtements usuels des employés alors que dans la zone noire, sont déposés les vêtements souillés. Entre les deux zones se trouvant les douches.

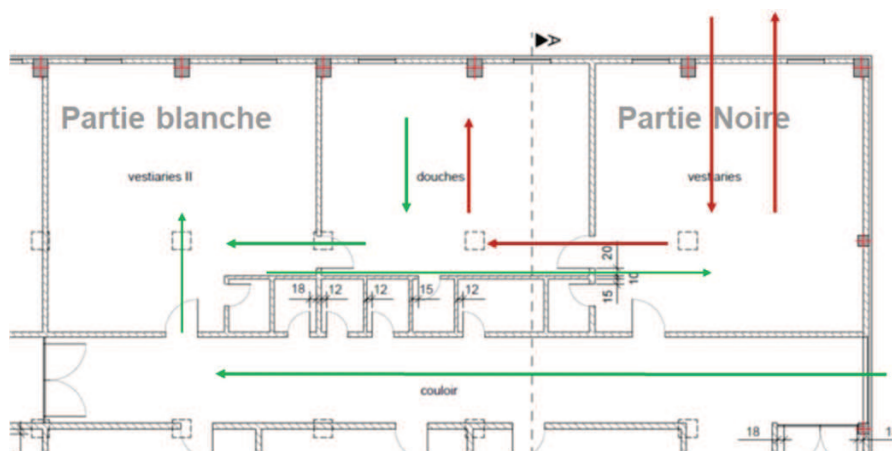


Figure 39: Zone "blanche"/zone "noire"

Comme pour les autres bâtiments, les structures sociales relèvent du domaine du génie civil et doivent être dimensionnées selon les normes de construction en vigueur. Ici aussi ces bâtiments peuvent être en dur ou en préfabriqué (*si disponible*).

HANGAR DE MAINTENANCE

Le hangar de maintenance doit être conçu pour des travaux de réparation et d'entretien des véhicules légers et lourds (*exception : le compacteur*) du site. Par conséquent, le maître d'œuvre doit aussi déjà avoir une idée sur le type d'équipement utilisé sur le site afin de pouvoir dimensionner la hauteur du bâtiment. Si le maître de l'ouvrage demande aussi de prévoir des possibilités de maintenance du compacteur dans ce bâtiment, alors il faut aussi penser à des mesures de renforcement du sol (*rails métalliques ou autres dispositifs spécifiques*).

Le hangar de maintenance doit avoir au minimum :

- Un bureau pour le chef de service de la maintenance (*chef du parc roulant*)
- Une pièce pour la documentation et les archives
- Une pièce pour le stock de pièces de rechange
- Une fosse à vidange et un déshuileur

Ce bâtiment doit répondre aux normes de sécurité et d'hygiène qui régissent ce genre d'infrastructures et le maître d'œuvre doit prendre en considération tous les aspects de praticabilité (*carrelage, prise de courant pour milieu humide et en contact d'eau, chape en époxy pour un meilleur nettoyage, etc.*)



Figure 40: Exemple d'un hangar de maintenance en APS [1]

Ce bâtiment ne peut être conçu en préfabriqué. Mais comme les autres bâtiments, Il doit répondre aux normes de construction en vigueur et relève du domaine du génie civil.

LES VOIRIES

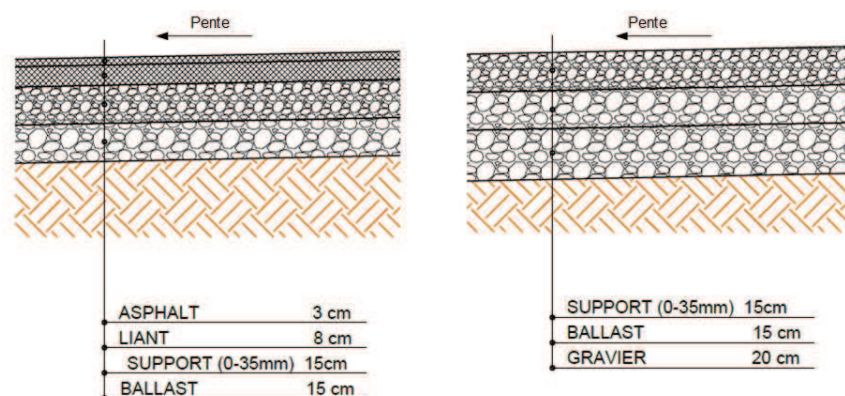
Il existe plusieurs types de voiries qu'il faut concevoir sur un CET :

- Les voies d'accès et de circulation des camions arrivant sur le site
- Les voies de circulation des engins de travail du site (*enfouissement, compactage, etc.*)
- Les voies de circulation de contrôle du site par le gestionnaire
- Les zones tampons et de stationnement

Toutes les voies de circulation sont à dimensionner selon les normes de travaux publics en vigueur.

Les voies de circulation des camions sur le site sont à dimensionner pour le passage de poids lourds. La largeur des voies est laissée à l'appréciation du maître d'œuvre en fonction de la surface disponible, de la taille du site, de la taille des véhicules arrivant et des paramètres de circulation (*fréquence, nombre de véhicules par jour*).

La largeur minimale de la voirie est naturellement la largeur qui permet la circulation en toute sécurité d'un camion sur une voie sans contre-sens. Ces voies sont en asphalté ou en béton (*si moins cher*).



En asphalté (voie d'accès, vers le casier)

Piste (voie circulaire des bassins ou du casier)

Figure 41: Coupe type de voirie

Pour les engins d'exploitation souvent lourds, à chenille ou munis de roues dentées (*compacteur*) il est recommandé dans la mesure du possible de prévoir des pistes séparées de circulation (*non-asphaltée, renforcée avec du gravier pour éviter les glissements et le développement de boues*). Cette piste doit avoir la largeur de l'engin le plus large. Elle ne nécessite pas la circulation à double sens.

Les voies de circulation de contrôle par le gestionnaire peuvent être des voies asphaltées ou des pistes carrossables non asphaltées. Elles doivent être prévus à tous les endroits qui nécessitent un contrôle et pouvant être accessibles par une voiture tout-terrain : zone des bassins de lixiviats, zone de traitement des biogaz, berme du casier d'enfouissement, etc. La largeur de ces voies correspond à la largeur d'une voie pour véhicule léger.

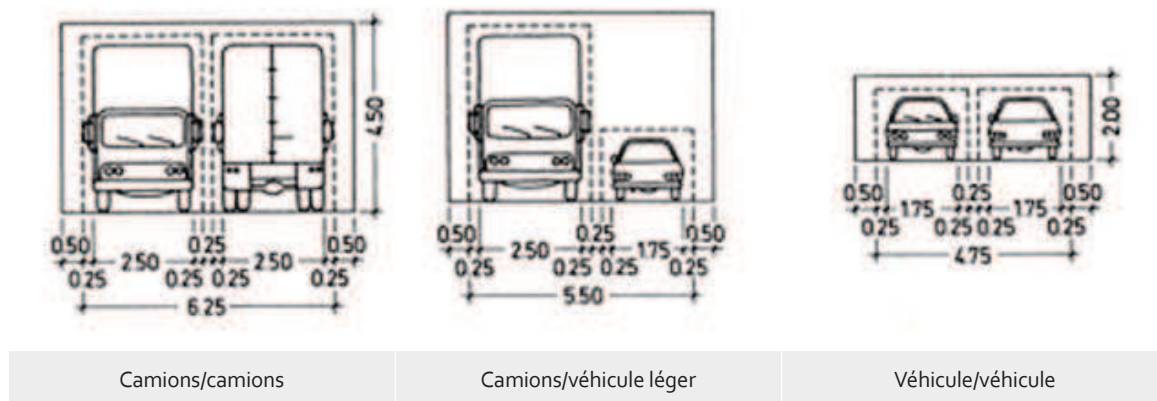


Figure 42: Largeur recommandée de la voie en fonction des différents cas de véhicule

Une attention particulière doit être attachée au dimensionnement des virages, des zones de recul, de tournant et des zones giratoires

Les zones de stationnement elles aussi doivent être conçues en fonction du véhicule respectif :

- Stationnement des véhicules du personnel : stationnement individuel en fonction du nombre maximal d'employés, aire de stationnement pour véhicule léger. En cas de transport collectif, prévoir un stationnement pour minibus
- Stationnement des véhicules de visiteurs : aire de stationnement spécifique, sécurisé et loin des activités pouvant engendrer des accidents. Nombre de places en fonction de la taille du site et des espaces encore disponible
- En cas d'une forte fréquentation du site par des camions à OM et autres véhicules d'apport des déchets: prévoir des zones de stationnement devant l'entrée du site pour poids lourds ainsi que des baies d'évitement.

LES RÉSEAUX DIVERS

Parmi les réseaux divers, nous avons le réseau d'AEP (*aménagement en eau potable*), le réseau d'assainissement et le réseau énergétique/électrique. Ici, le maître d'œuvre doit avoir les ingénieurs spécialisés pour le dimensionnement au sein de son équipe. Le dimensionnement doit se faire selon les normes en vigueur.

Il est important pour le concepteur de connaître ou d'estimer les demandes en eau (*eau potable et assainissement*) ainsi que les demandes en électricité (*tous les bâtiments, et installations, éclairage public etc.*) du site.

ZONE D'EMPRUNT OU DE STOCKAGE DES MATÉRIAUX

Un aspect souvent oublié mais nécessaire à une bonne gestion du site, c'est la zone d'emprunt ou de stockage des matériaux (*de recouvrement*). En effet, le maître d'œuvre doit concevoir une aire de préférence à proximité de la zone d'enfouissement pour le stockage des matériaux de recouvrement (*terre mère, provenant des déblais par exemple*).

Dimensionnement : pour une quantité correspondant à environ 1 mois d'exploitation en fonction de la surface de recouvrement de la première alvéole (*plan de phasage*)

LES INFRASTRUCTURES COMPLÉMENTAIRES

Parmi les infrastructures qui ne sont pas nécessaires mais pouvant avoir une plus-value pour le CET, on retrouve:

- Une installation de lavage des roues pour engins lourds
- Une station essence
- Et éventuellement un laboratoire

L'installation de lavage des roues peut être conçue par le maître d'œuvre comme un espace de lavage des camions, comportant une évacuation des eaux usées et une connexion électrique pour le raccord d'un nettoyeur à haute pression.

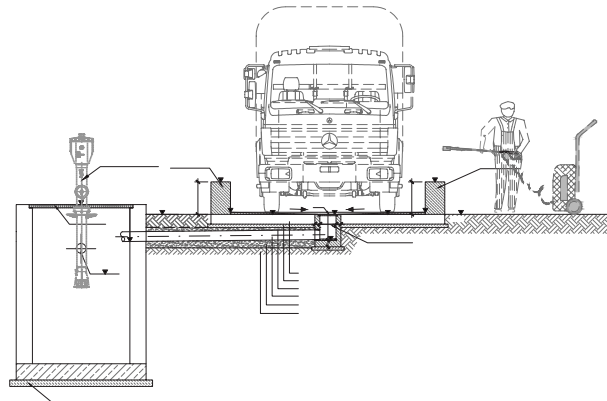


Figure 44: Installation de lavage des roues de conception simple [1]

Le maître d'œuvre peut aussi proposer des installations mécanisées produites par des fournisseurs spécialisés.

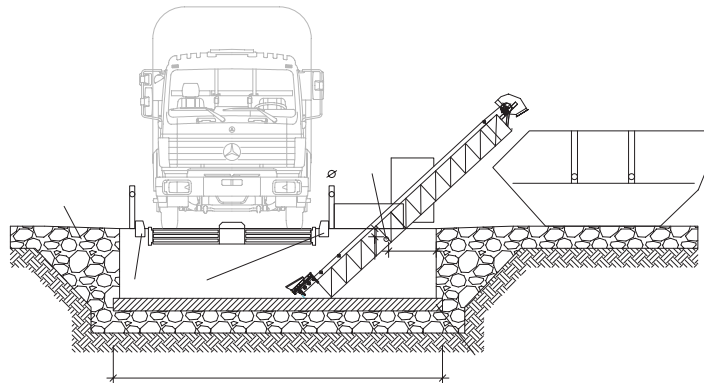


Figure 45: Installation de lavage des roues mécanique [1]

La station essence est une installation spécifique répondant à des exigences particulières en matière de sécurité et d'hygiène. Le maître d'œuvre doit ici aussi respecter les normes en vigueur et prendre contact avec les administrations respectives afin de respecter les exigences pour son dimensionnement et le choix de son emplacement sur le site.

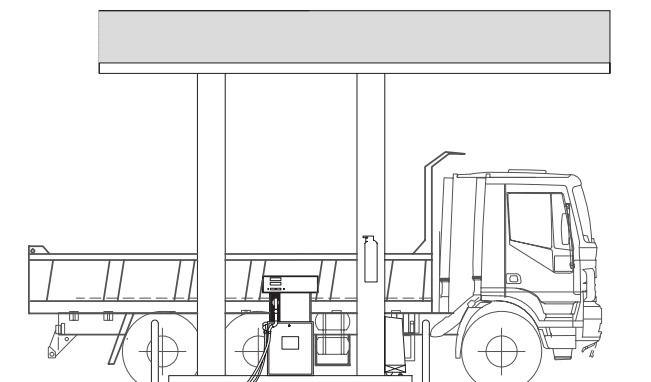


Figure 46: Coupe d'une station essence (APS)

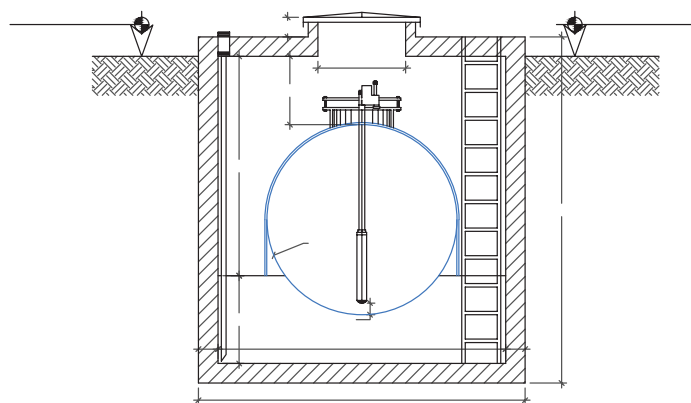


Figure 47: Coupe de la citerne à essence (APS)

Le laboratoire peut être prévu dans le bâtiment administratif ou être conçu comme bâtiment annexe. Il devrait être positionné à proximité du poste d'accueil et de pesé ou à proximité d'une zone aménagée spécifiquement pour le déversement d'une livraison de déchets « **douteuse** ». Il doit être conçu et équipé selon les normes en vigueur en matière d'hygiène et de sécurité spécifique à ce genre d'installation.

La conception d'un CET est une opération complexe nécessitant l'intervention d'une équipe pluridisciplinaire. De nombreuses exigences en matière d'hygiène, de sécurité et de conditions de travail sont à respecter.

Il est par ailleurs nécessaire d'avoir une bonne communication et coordination avec le maître d'ouvrage, l'éventuel exploitant et les autres concernés telle la protection civile afin de développer un concept intégré répondant à toutes les normes et exigences.

L'exercice du maître d'œuvre sera de proposer les solutions techniques optimales tout en restant dans le budget alloué.

Ce processus itératif peut durer plusieurs mois car le maître d'œuvre sera éventuellement confronté à diminuer certains aspects (par exemple la surface du casier) au détriment d'autres installations nécessaires (station de traitement de lixiviats par exemple).

LE BIOGAZ

QUANTITÉ ET COMPOSITION DES GAZ

L'enfouissement des déchets dont une partie organique, biodégradable, génère non seulement des nuisances sous formes liquide (*lixiviats*) mais aussi sous forme gazeuse. La composition des biogaz et la concentration de leurs différents éléments dépendent de la nature des déchets enfouis. D'une manière générale, la dégradation anaérobie de matières organiques entraîne la production de biogaz qui se compose essentiellement de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2). En outre, la biodégradation de matières organiques est accompagnée d'émissions en faible quantité d'hydrogène (H_2), de sulfure d'hydrogène (H_2S) ou d'ammoniac (NH_3) ainsi que d'un grand nombre d'autres substances.

Substance	Concentration habituelle
CH_4	50 – 65 %
CO_2	35 – 50 %
H_2 , NH_3 , H_2S	1 – 5 %
Hydrocarbures halogénés Composés sulfurés	<< 1 %
Eau	Normalement, saturation à 100 %

Tableau 10: Composition typique du biogaz d'un CET

La production de biogaz (CH_4) commence donc lorsque les déchets atteignent un degré de compaction assez important pour avoir un environnement dépourvu d'oxygène. Ceci est le cas après environ 1-2 ans d'exploitation du site.

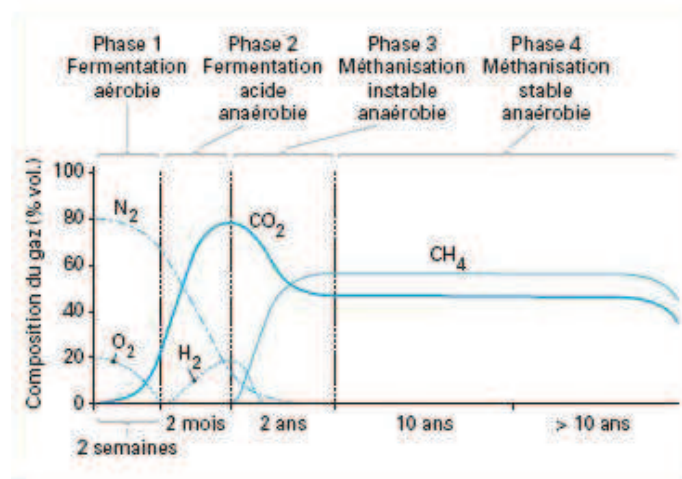


Figure 48 : développement du biogaz en fonction des années d'exploitation

Du point de vue technique, la quantité de biogaz pouvant être captée sur un site dépend des facteurs suivants:

Configuration géométrique de la zone d'enfouissement ou du casier	Casier semi-enfoui, en surélévation, casier en pente; casier profond etc.
Couverture intermédiaire ou finale d'un casier	En fonction de l'étanchéité de la couverture, les taux d'extraction de gaz peuvent augmenter. Il convient cependant de relever que des couvertures ou des étanchéités de surface très étanches peuvent entraver la production de biogaz étant donné qu'elles empêchent une introduction d'eau dans le massif ;
Qualité et maintenance du système de dégazage	Le taux d'extraction de gaz augmente en fonction du niveau de la qualité du système de dégazage mise en place (collecteurs horizontaux et/ou verticaux) et de son étanchéité vis-à-vis de l'atmosphère. De même, une maintenance avec réglage à intervalles réguliers du système de dégazage aura une incidence positive sur le taux d'extraction de gaz et constitue, par conséquent, une mesure très importante.

Pour une première approche, la quantité du biogaz peut être calculée par la formule suivante :

Cette formule reste approximative car elle ne reflète pas exactement les conditions sur terrain. Elle permet uniquement de donner un aperçu sur le potentiel possible en matière de biogaz. Pour la conception et le dimensionnement, elle est plutôt de nature secondaire.

Pour simplifier, on peut dire que la production biogaz après dépôt de déchets organiques sous une couverture étanche sera maximale au cours des premières années, par la suite elle chute de manière exponentielle. En Europe centrale, on part du principe que dans des conditions optimales, compte tenu d'une teneur en carbone organique de 200 kg/t déchet, la production de biogaz au cours de 20 à 30 années à venir atteint environ 200 m³ par tonne de déchet. Comme la production de biogaz dépend très fortement de la teneur en eau et de l'enfouissement, la quantité de gaz produite peut varier considérablement de site en site. On ne dispose encore d'aucune donnée reposant sur des bases scientifiques et vérifiables sur le terrain.

Néanmoins, sachant que les déchets en Algérie présentent un fort taux en matière organique, et des conditions climatiques favorables (*surtout au nord du pays*) une production de biogaz sera inévitable et, par conséquent, un dispositif de captage sera nécessaire.

CAPTAGE DES GAZ

Dans la mesure du possible, il convient de collecter, de traiter et d'exploiter le biogaz produit sur tous les sites sur lesquels sont enfouis des déchets biodégradables. S'il n'est pas possible d'utiliser le biogaz pour une valorisation énergétique, alors il doit être éliminé de manière contrôlée par un dispositif de torchères.

Un système de collecte des biogaz comprend les éléments suivants:

- Puits de captage verticaux (*puits*) et/ou collecteurs horizontaux
- Conduites de transport à partir des puits de captage vers les postes intermédiaires de rassemblement et de prise d'échantillons
- Séparation du condensat
- Postes de rassemblement et de prise d'échantillon
- Conduites de transport à partir des postes de rassemblement vers la station de compression
- Station de compression (*avec ventilation*)
- Traitement des gaz (*torchère*) ou valorisation énergétique

Équipement	Commentaires / Description
Collecteurs horizontaux	Les collecteurs horizontaux sont principalement utilisés au cours de l'exploitation d'un casier. Ils sont disposés tous les 4-8 m (<i>en niveau</i>) et espacé de 30 à 40 m par niveau. Avantage: Ils n'entravent pas les opérations d'exploitation car les conduites de transport se trouvent sur les flancs externes de la décharge, soit en dehors de la zone d'exploitation. Inconvénient: Taux de captage plus ou moins médiocre. Les collecteurs horizontaux se remplissent assez rapidement d'eau, de sorte qu'à court terme, ils ne peuvent plus assumer correctement leur fonction.
Puits de captage (<i>vertical</i>)	Les puits de captage sont à réaliser pendant l'exploitation d'un casier ou remplissage de celui-ci. Ils sont espacés d'environ 30-50 m (<i>Diamètre</i>) Avantage: Taux de captage relativement élevé comparés aux collecteurs horizontaux, les collecteurs verticaux sont beaucoup moins exposés au risque de défaillance. Inconvénient: La tête des puits doit être surélevée au fur et à mesure que l'on exploite le casier et les conduites de transport doivent être posées sur la zone d'exploitation, ce qui entrave le travail quotidien. Les puits de captage de gaz installés une fois que le casier est fermé n'entravent pas les opérations d'exploitation. Par conséquent, un dégazage du casier ne peut pas être effectué tant que le casier se trouve en exploitation.

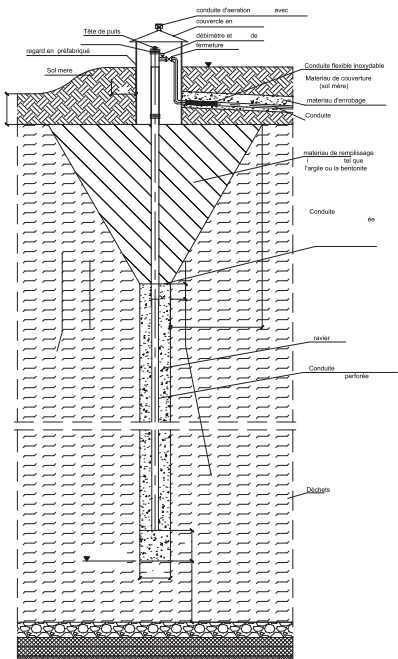


Figure 49: Schéma d'un puit de captage des biogaz [1]

Séparateurs de condensat	Afin d'assurer une évacuation de l'eau condensée dans les conduites de gaz, des séparateurs de condensat doivent être installés en chaque point bas du réseau de collecte des gaz
Postes de rassemblement	Des postes intermédiaires doivent être prévus en étant disposés de telle façon qu'un certain nombre de puits de captage puissent être raccordés à la conduite de transport acheminant les gaz vers la station de compression. C'est à ce niveau que des échantillons peuvent être pris et que les instruments de suivi des puits sont ajustés. Les postes de rassemblement doivent être facilement accessibles par véhicules. Il est recommandé de les placer en flanc extérieur du casier à proximité de la voie circulaire
Station de collecte des gaz (station de compression)	Elle sert à compresser le gaz pour une valorisation énergétique ou pour le traitement par torchère. La station doit être facilement accessible au moyen de véhicules.

Attention : En cours d'exploitation (*remplissage*) des casiers, il est recommandé de prévoir des collecteurs horizontaux qui permettent un dégazage sans entrave, ou n'entravant que légèrement les opérations de remplissage. Les puits de captage dont la tête doit être relevée au fur et à mesure du remplissage du site présentent un risque plus important d'incident car pouvant être plus facilement endommagés par les engins d'exploitation.



Image 7: mise en place d'un réseau de collecteurs horizontaux

TRAITEMENT ET EXPLOITATION DES BIOGAZ

L'enfouissement de déchets biodégradables entraîne la production de gaz. Ces gaz doivent être collectés, traités et si possible valorisés. Lorsqu'ils ne peuvent pas être utilisés pour la production d'énergie, ces gaz doivent être éliminés par un dispositif de torchères.

BRULAGE PAR TORCHÈRE

Le brûlage doit autant que possible être complet et il ne doit pas conduire à des émissions de produits secondaires dangereux comme les furanes ou dioxines. Cette opération requiert un excédent d'oxygène, une température minimale et une durée de séjour minimale du gaz dans la flamme de la torchère (*dans la marge des températures élevées*). Il existe pour le brûlage des biogaz des torchères spécifiquement élaborées qui satisfont à cette condition tant que la quantité de gaz à brûler est comprise dans la marge de réglage de la torchère et tant que la teneur en méthane du gaz de décharge est suffisante pour une combustion. Pour cela, on utilise habituellement des torchères hautes températures.

La température de combustion des torchères simples doit atteindre au minimum 850°C et le temps de séjour défini est au minimum 0,3 sec. Avec les torchères haute température, la température de combustion doit être d'au moins 1 000°C et le temps de séjour de 0,3 sec au minimum.

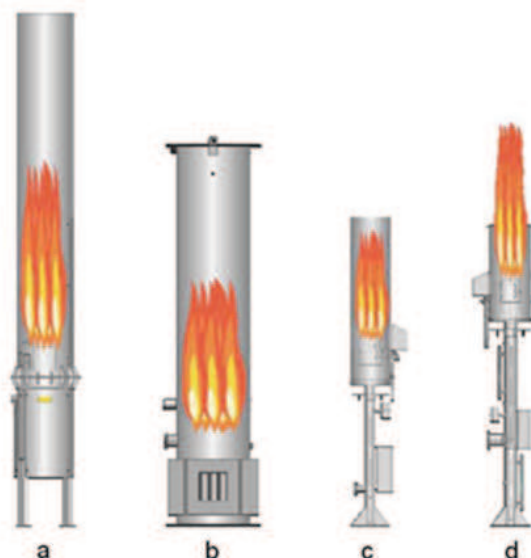


Figure 50: Type de torchère

a : Torchère à haute température (1200°C)

b : Torchère à haute température (1000°C), fermé

c : Torchère à haute température (850°C), fermé

d : Torchère à haute température (800-850°C), ouvert avec flamme visible

VALORISATION DES GAZ

La valorisation énergétique du biogaz présente toujours des avantages par rapport à l'élimination par torchères. Non seulement du point de vue écologique mais aussi du point de vue économique, la valorisation énergétique peut s'avérer bénéfique à long terme (*si le potentiel en biogaz existe bien sûr*)

En effet, le biogaz d'un CET possède une forte valeur calorifique grâce au taux de méthane (CH_4) contenu dans celui-ci

Le tableau suivant indique la capacité ou valeur calorifique du méthane, des biogaz d'un CET en comparaison avec ceux des gaz naturel.

La valorisation énergétique peut se faire de plusieurs façons

Valorisation directe des biogaz (*valorisation de la chaleur*) dans une exploitation agricole ou industrielle à proximité du site (*par exemple pour le chauffage de serres ou en tant que combustible dans un four à tunnel d'une briqueterie ou poterie etc.*) par la conduite thermique

Production d'énergie électrique au moyen d'un moteur à gaz et d'un alternateur (*solution la plus fréquente*) ou d'une turbine.

Épuration (*lavage*) des biogaz et concentration du méthane (*c'est-à-dire séparation du CO_2*) pour l'utilisation du gaz dans le réseau de gaz naturel ou remplissage du gaz en bouteille.

Toutes ces installations existent sous forme d'installation mobile (*ce qui veut dire sous forme conteneurisée*). Bien sûr, elle présente un coût supplémentaire mais elles peuvent être aussi sources de revenus ou d'épargne pour le CET (*source de revenu par la revente de gaz, d'électricité et/ou de chaleur, source d'épargne par l'utilisation énergétique sur le site et donc par la réduction des dépenses en matière d'apport énergétique publique*). De toutes les manières, la prévision d'une torchère de secours (*en cas d'arrêt du système*) est toujours à prévoir.

Même si les investissements et la réalisation du système de captage et de traitement des biogaz ne font pas partie des mesures immédiates de la réalisation, la conception doit faire partie intégrante de l'APS et de l'APD car la partie biogaz est un élément essentiel de la gestion et des considérations économiques d'un projet de CET.

Il se peut que parfois le maître de l'ouvrage exige la procuration de ces équipements au début de la gestion. Ils seront stockés dans un endroit sûr pour être mis en œuvre après une certaine période d'exploitation sans perdre de temps par le passage d'un nouvel appel d'offre.

	D.état nor	D. relative	Vlr énergétique à l'état normal		Vlr calorifique à l
	kg/m ³	d	H _{um}		H _{um}
			MJ/m ³	KWh/m ³	MJ/m ³
Méthane 100% CH ₄	0,7175	0,555	39,82	11,06	35,88
Gaz de CET avec	1,21	0,93	24,3	6,75	21,96
61% CH ₄					
39% CO ₂					
Gaz de CET avec	1,28	0,99	21,89	6,08	19,74
55% CH ₄					
45% CO ₂					
Gaz naturel L (low)	0,83	0,64	35,17	9,77	31,74
Gaz naturel H (High)	0,79	0,61	41,34	11,48	37,35

Tableau 11: Données caractéristiques essentielles pour la combustion du gaz comparées à celle du gaz naturel L et H

RECOUVREMENT INTERMÉDIAIRE ET AMÉNAGEMENT FINAL

La planification d'un CET exige du maître de l'œuvre d'avoir une vision globale et finale du site. Uniquement en se mettant dans la « peau » de l'exploitant, il peut développer la solution et la conception la plus optimale.

La partie intégrante de sa planification doit donc être aussi le développement du site pendant son exploitation régulière, son arrivée en fin de vie et après sa fermeture.

ÉTANCHÉITÉ DE SURFACE (COUVERTURE)

Tout casier de CET arrivé en fin de vie et dont la fermeture a été décidée doit être recouvert par un système d'étanchéité de surface, afin d'empêcher la percolation des eaux de pluie à travers le massif de déchets provoquant une production de lixiviats supplémentaires dont le traitement et l'élimination peuvent s'avérer très coûteux. Le système de couverture finale est présenté ci-dessous :

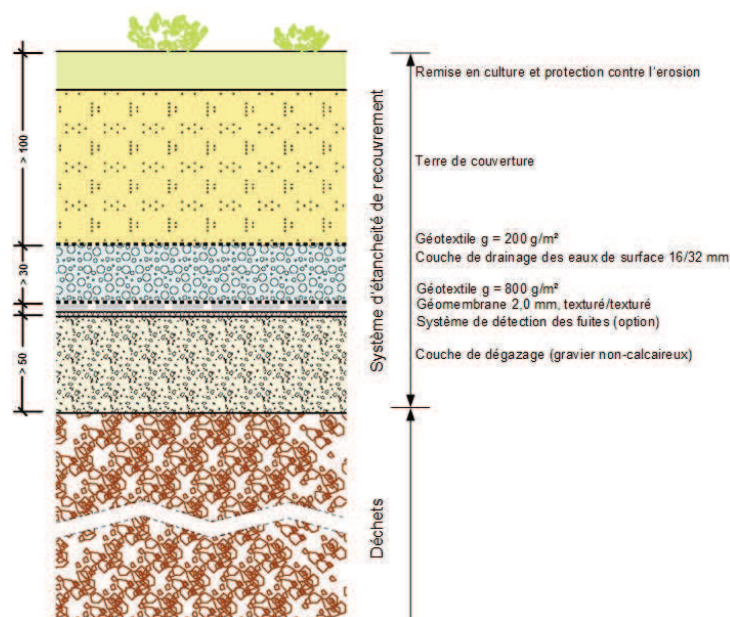


Figure 51: Système de d'étanchéité de surface (recouvrement final)

état normal	Indice de Wobbe		T° d'inflam dans l'atmosphère	Limite d'inflammation	
	W_{oa}	W_{ou}	T_z	min	max
KWh/m ³	MJ/m ³	MJ/m ³	°C	zu	zo
				Vol%	Vol%
9,97	53,45	48,17	645	5,1	13,5
6,1	25,2	22,77	640	5	15
5,48	22	19,84	640	5	15
8,82	43,96	39,67	640	5	15
10,38	52,95	47,82	640	4	16

Il est constitué du bas vers le haut :

- D'une couche de dégazage en gravier non calcaireux similaire à celle pour le drainage des lixiviats. Elle peut être ponctuelle entourant les puits de collecte du biogaz ou étalée sur toute la surface du casier.
- D'une géo-membrane assurant l'étanchéité contre l'infiltration des eaux de pluie. Elle est parfois munie d'un système de détection des fuites (*capteurs*). En alternative, on peut aussi utiliser une étanchéité minérale.
- La géo-membrane doit être protégée par un géotextile de protection (*les caractéristiques physiques sont à déterminer au cas par cas, mais vu la faible hauteur de recouvrement comparé à la géo-membrane de base, le géotextile devrait être d'une masse surfacique inférieure*)
- Au-dessus du dispositif d'étanchéité est placée la couche de drainage des eaux de pluie. Elle doit avoir des caractéristiques de perméabilité pour assurer un bon drainage des eaux et éviter une stagnation
- Pour l'aspect paysager et de remise en culture, il faut prévoir une terre de couverture et de la terre végétale. Pour éviter un colmatage du drainage, un géotextile de séparation doit aussi être prévu.

ÉTANCHÉITÉ MINÉRALE

La description de l'étanchéité minérale a déjà été présentée dans la partie étanchéité de base. Dans ce contexte, il convient toutefois de relever le risque très important d'un assèchement et d'une défaillance complète de la couche minérale sous certaines conditions climatiques (*chaleur extrême*). En cas de formation de fissures de retrait, l'étanchéité minérale n'est plus en mesure d'assumer sa fonction. Par conséquent en présence des conditions extrêmes, il est préférable de renoncer à la mise en œuvre d'une couche d'étanchéité minérale et d'utiliser une géo-membrane.

GÉO-MEMBRANE

Les exigences techniques et de mise en œuvre présentées au chapitre « **étanchéité de base** » sont également valables pour les géo-membranes. La mise en place d'une géo-membrane en tant que partie d'un système d'étanchéité de surface est fortement recommandée.

Le système d'étanchéité de surface est toujours composé d'une couche d'égailisation ou couche de base, d'un système d'étanchéité, d'une couche de drainage permettant l'évacuation de l'eau et d'une couche de remise en culture qui a pour but de protéger l'étanchéité et le substrat nécessaire à la végétation qui couvrira le casier. En outre, en fonction des composants utilisés, il est nécessaire de prévoir différentes couches de protection ou de séparation (*géotextiles filtrants présentant une bonne résistance*).

Le choix du système d'étanchéité de surface à retenir dépend des conditions climatiques du site (voir le tableau 12) et des objectifs visés après couverture finale.

Les étanchéités minérales présentent toujours une certaine perméabilité résiduelle de sorte qu'une faible quantité de lixiviats doit encore être traitée sur une période relative longue après couverture. Seule la géomembrane est techniquement en mesure d'offrir une étanchéité pratiquement absolue aux effluents liquides et gazeux. Lorsqu'elle est posée avec le plus grand soin et qu'elle n'a pas été endommagée en cours de travaux, elle peut être considérée comme étant techniquement étanche de sorte que la formation de lixiviats diminue rapidement.

Composants	Températures			Climat (humidité)			
	Froide	T°	Chaude	Aride	S.Ar	S.Hu	Humide
Végétation	o	+	+	-	o	+	+
Couche de remise en culture	o	+	+	-	o/-	+	+
Simple couverture (sols) sans étanchéité de surface	Aucune incidence des T°			+	o	-	-
Couche de drainage	o	+	+	o/-	+	+	+
Géo-membrane	+	+	+	o	+	+	+
Étanchéité minérale	o	+	+	-	-	o	o
Étanchéité combinée	o	+	+	-	-	+	+
Couche de drainage des gaz	Aucune influence de la T°			Aucune influence du climat			
Couche d'égalsation ou de base	Aucune influence de la T°			Aucune influence du climat			

Tableau 12: Étanchéités de surface en fonction des conditions climatiques [13]

Légende : o = approprié dans certaines conditions, + = recommandé / approprié, - = non approprié

De plus, une simple couverture par des sols n'est pas étanche aux effluents gazeux. Les émanations de biogaz peuvent être toxiques pour la végétation qui couvre le casier.

La composante la mieux appropriée pour la réalisation d'un système d'étanchéité de surface est constituée par une géo-membrane sous réserve d'une mise en place très soignée, elle offre en effet l'avantage d'être techniquement étanche aux effluents, de résister aux racines, et de ne pas se dessécher. Elle doit cependant être posée en conformité avec les exigences posées en matière d'assurance qualité et doit de plus être bien protégée contre tout endommagement ultérieur.

Entre l'étanchéité et la couche de remise en culture, il convient de disposer une couche de drainage permettant une évacuation latérale des eaux au-dessus de la géo-membrane. Cette condition revêt une grande importance pour la stabilité du système d'étanchéité de surface. Outre une couche de graviers drainante, la couche de drainage peut comporter un tapis composé de géotextiles drainants. Dans ce cas toutefois, il est indispensable de présenter un certificat attestant la capacité de drainage de ce dispositif, et ce, en tenant compte notamment de la surcharge exercée par la couche de remise en culture en fonction de son épaisseur.

PLANS APS

Les éléments de conception présentés dans les chapitres précédents doivent aboutir à l'élaboration du document d'Avant-Projet Sommaire (APS). Ce document est constitué de notes écrites et de documents graphiques devant être présentés au maître d'ouvrage pour approbation, commentaire et réserves. Une fois l'Avant-Projet sommaire approuvé, le maître d'œuvre pourra passer à l'élaboration des détails. L'élaboration des plans d'APS doit se faire selon les normes techniques usuelles et doit couvrir les éléments suivants :

VOLUMÉTRIE GÉNÉRALE, PLAN DE MASSE

Le plan de masse doit couvrir toutes les infrastructures, bâtiments, toutes les conduites et les autres ouvrages qui se trouvent sur le site. Cela s'applique à tous les ouvrages comme au terrain naturel.

Les plans de situation du site ou plans de masse sont habituellement élaborés à l'échelle 1/1 000 ou 1/500.

Lorsqu'il s'agit de très grandes surfaces, il peut néanmoins s'avérer nécessaire de dresser des plans au 1/2 000 ou au 1/2 500. Dans la mesure du possible, le site sera représenté sur un plan unique (*format DIN A0 au max.*). Une séparation en deux ou plusieurs plans doit se faire uniquement que s'il est impossible de représenter tous les détails nécessaires sur un seul et même plan (*à l'échelle 1/2 000, par exemple*).

Les informations suivantes doivent figurer sur le plan de masse:

- Direction Nord ;
- Zone d'enfouissement avec phasage du ou des casiers, localisation des conduites de drainage
- Repères sur le terrain et courbes de niveau, talus (*côtes sup. et inf.*) ;
- Les lignes de rupture de pente et de changement de pente (*côtes sup. et inf. des talus, changements importants de pente, fossés etc.*) ;
- Infrastructures ;
- Pré-dimensions des composantes, cote altimétrique des ouvrages/radiers des puits/profondeur des puits d'observation des eaux souterraines ;
- Voies et zones de circulation, rampes avec indication de la déclivité ;
- Canalisations, conduites, tubes et puits ;
- Cours d'eau, piézomètres, puits, fossés etc. ;
- Lignes électriques, conduites de gaz, lignes téléphoniques, conduites d'eau potable, d'eaux usées etc. ;
- Espaces verts, végétation ;
- Limites du terrain, désignation de l'occupation des sols ;
- Tous les points, repères et toutes les informations enregistrées lors du levé du terrain.

PLANS DES AMÉNAGEMENTS EXTÉRIEURS

Les plans des aménagements extérieurs sont les plans élaborés par l'architecte du maître de l'œuvre. Ils présentent :

- Les Plans des niveaux (*éch. 1/200*)
- Plans des façades *éch. 1/200*
- Certains détails significatifs au 1/100

CROQUIS ET SCHÉMAS TECHNIQUES

Les croquis et schéma technique peuvent être les schémas du système d'étanchéité du casier (*de base et de couverture finale*), les coupes à travers le système de drainage, les coupes types des regards de collecte choisis etc. Un schéma technique peut être aussi le schéma de fonctionnement d'une installation d'épuration des lixiviats.

Pour un projet APS, les schémas présentés dans les chapitres précédents peuvent être réadaptés aux conditions du site, complétés et être redessinés pour être mis sous un format normalisé. Le degré de détails est suffisant.

NOTICE DESCRIPTIVE

La notice descriptive en APS doit présenter la localisation du site, les conditions générales du site ainsi que les données sur son environnement. La notice doit contenir les premiers éléments de la recherche de données, les calculs prévisionnels de lixiviats et de biogaz, les descriptions sommaires des bâtiments, du casier, des phases d'exploitation etc. Elle doit décrire les éléments et lot architecturaux et l'insertion paysagère du site. A ce stade, une éventuelle présentation de plusieurs variantes techniques est encore possible.

Un calendrier de réalisation provisoire et éventuellement le découpage en tranches fonctionnelles peuvent aussi faire partie de la notice descriptive.

NOTICE ESTIMATIVE

A la fin de l'APS, le maître d'œuvre doit pouvoir, d'ores et déjà, présenter au maître d'ouvrage une ou plusieurs estimations provisoires du coût prévisionnel des travaux (*en fonction des variantes*).

Ces estimations peuvent être présentées en lot ou sous forme d'un premier total.

Résumé du dossier APS

- Notice descriptive
 - o Présentation du site (localisation, données générales (climat, environnement, etc.))
 - o Présentation des paramètres de dimensionnement : (*déchets, lixiviats, biogaz*)
 - o Présentation de(s) variante(s) de conception
 - o Description sommaire des éléments (*bâtiments, casier, infrastructure, etc.*)
 - o Calendrier prévisionnel de réalisation
 - o Notice estimative (*coûts prévisionnels*)
- Documentation graphique (*Plans*)
 - o Plan de masse (*Ech 1 : 2.000, 1 : 1.000 ou 1 : 500*)
 - o Plans de façades et coupes de bâtiments (*1 : 200, 1 : 100*)
 - o Croquis et schéma technique

LES ETUDES COMPLEMENTAIRES

Les études complémentaires sont des documents indispensables à la réalisation du projet de CET. Elles sont élaborées par le maître d'œuvre en parallèle aux dossiers de planification (*APS et APD*) et accompagnent le processus d'octroi de permis de construire et par la suite d'autorisation d'exploitation. Ces deux études sont-elles-mêmes complémentaires entre elle.

L'EIE décrit les impacts du projet sur son milieu environnant de la réalisation à l'exploitation lors d'une gestion normale du site. En fonction de ces impacts, des mesures d'atténuation ou de compensation sont proposées. L'EDD décrit les impacts du projet sur son milieu environnant lors d'un événement ou une situation exceptionnelle (*accident, catastrophe naturelle, etc.*). En fonction de ces événements, les mesures de sécurité à entreprendre sont proposées.

La méthodologie, les procédures d'élaboration ainsi que le contenu détaillé de ces deux études ne peuvent pas faire l'objet de ce guide technique.

Dans le contexte algérien, une documentation exhaustive dans le domaine des EIE a été élaborée par le ministère de l'Environnement en coopération avec la GIZ et peut être mise à disposition des BET sur demande. Pour les EDD, la législation existante fournit les éléments de base pour la structure des rapports. A défaut d'expertise dans ce domaine, le maître d'œuvre peut se rapprocher des bureaux spécialisés existant en Algérie. Ces études ne sont pas complexes mais peuvent atteindre un volume important. Pour pouvoir les élaborer, le maître d'œuvre doit avoir au moins déjà la conception générale du site avec l'agencement et la fonctionnalité de chaque bâtiment.

Le guide technique se limitera ici à donner une table des matières type pour chacune des deux études pouvant être utilisées comme fil conducteur dans l'élaboration des études.

L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE (EIE)

L'EIE comprend les éléments suivants :

Résumé non technique

Introduction

1. Présentation du promoteur du projet
2. Présentation du bureau d'études
3. Analyse des alternatives éventuelles du projet
4. Délimitation de la zone d'étude

Définition de l'horizon temporel du projet

5. Description de l'état initial du site et de son environnement

A. Milieu physique

- I) situation géographique
- li) climatologie
- lii) contexte géologique
- lv) contexte hydrogéologique
- V) contexte hydrologique
- Vi) risques naturels

B. Milieu naturel

- I) intérêt écologique du site
- li) faune
- lii) flore

C. Milieu humain

- I) patrimoine culturel
- li) contexte socio-économique
- lii) activité et vie économique
- lv) occupation des sols
- V) réseaux divers
- Vi) infrastructure de transport et condition de déplacement
- Vii) ambiance paysagère
- Viii) ambiance sonore
- Ix) qualité de l'air

D. Synthèse de l'état des lieux**6. Description des différentes phases du projet****A. Description générale du projet****B. Aménagements principaux et dimensionnement****I) dimensionnement du site en fonction de la vulnérabilité**

- li) principaux aménagements
- lii) dimensionnement du projet

B. Phase de construction**C. Phase d'exploitation****D. Phase de post-exploitation****7. Estimation des nuisances****8. Evaluation des impacts du projet****A. Impact du projet sur le milieu physique****B. Impact du projet sur le milieu naturel****C. Effet sur les ressources naturelles****D. Impact olfactif****E. Impacts sonores****F. Risques et sécurité****G. Effet sur le cadre de vie****H. Effet sur le patrimoine archéologique, architectural et paysager****I. Effet sanitaire sur le projet****J. Impacts de la phase chantier****K. Analyse des impacts sur l'environnement de la phase exploitation****L. Synthèse des contraintes environnementales, techniques et financières**

9. Effets cumulatifs
10. Mesures envisagées pour préserver l'environnement
11. Plan de gestion de l'environnement
12. Incidences financières
13. Synthèse de l'étude et bilan environnemental du projet

L'ÉTUDE DE DANGER (EDD)

L'EDD comprend les éléments suivants :

Résumé non technique

Introduction

- Présentation générale du projet
- Identification et description de l'environnement immédiat
- Identification et caractérisation des potentiels de danger
- Description des installations du projet
- Mode opératoire du CET
- Analyse des risques
- Résumé des impacts
- Système de gestion de la sécurité
- Notice relative à l'hygiène et à la sécurité du personnel

Pour les CET de classe 2, la méthode d'analyse des risques recommandée est la méthode APR (*Analyse préliminaire des risques*). C'est un outil simple et facile à mettre en œuvre.

Avec ces deux études, le maître d'ouvrage, avec l'assistance du maître d'œuvre, sera dans la mesure d'entamer les procédures d'octroi de permis et d'autorisation. Ces études sont des documents descriptifs importants lors de l'enquête publique.

Recommandations

- L'enquête publique permet d'associer, dès le début, le citoyen dans le déroulement du projet, afin d'éviter toutes réticences et malentendus.
- L'étude d'impact environnementale et le choix du site ne doivent pas être obligatoirement réalisés par le même bureau d'études

AVANT-PROJET DÉTAILLÉ

Les travaux d'APD reprennent de manière détaillée les travaux effectués en APS. Leurs degrés de détails augmentent et ils doivent permettre, non seulement au maître d'œuvre de préparer le dossier d'appel d'offres et d'avoir une estimation financière fiable, mais aussi à une entreprise de proposer une offre financière raisonnable et réaliser tous les ouvrages en bonne et due forme.

L'avant-projet détaillé est constitué d'un document technique, de notes de calculs et de documents graphique (*plans d'APD*). De nouveaux éléments viennent étoffer ce dossier. Certains résultats des études complémentaires (*EIE et EDD*) seront matérialisés par de nouveaux plans tels que les plans de signalisation et de circulation ou par des détails techniques additionnels (*p.ex : paroi de protection anti-explosion si un bâtiment s'avère trop près d'une source explosive (station de traitement des gaz)*). De manière générale, les éléments fournis en APS sont repris avec plus de détails.

DOCUMENTS TECHNIQUES

Le document technique reprend en principe la conception élaborée en APS mais avec plus de détails. Les notices descriptives de chaque élément (*bâtiments, casier, etc.*) sont décrites avec plus de précisions.

Les côtes, les surfaces, les espacements etc, doivent être maintenant appuyés par les notes de calculs respectives. Le document technique est aussi à compléter par les éléments de sécurité, de communication et de signalisation. L'aménagement paysager doit préciser le type et la quantité de végétation prévus.

Le document technique doit donc avoir

- Les notices descriptives
- Les notes de calcul
- Notice de sécurité et de lutte contre l'incendie
- Schémas généraux de fonctionnement des installations techniques
- Le descriptif des bâtiments doit être complété par les aspects de chauffage-ventilation, plomberie, électricité
- Tableau détaillé des surfaces
- Documents économiques
- Estimation définitive du coût prévisionnel des travaux décomposés en corps d'état.

BÂTIMENTS

Les calculs de structures permettent de manière générale de calculer les dimensions des éléments porteurs des bâtiments ou infrastructure. Ces calculs permettent de ressortir l'épaisseur des éléments, la composition du béton (*ciments et agrégats*) ainsi que le ferrailage pour le béton armé. Ces calculs doivent être effectués selon les normes nationales en vigueur en considérant les différents paramètres de charge ainsi que la sismicité (*si nécessaire*), les charges du vent, de la neige (*éventuelle*) etc. ainsi que toutes autres charges statiques ou dynamiques. Le calcul de structures doit être matérialisé par des plans d'APD qui seront soumis à l'approbation du CTC.

INFRASTRUCTURES, VRD, DRAINAGE

Les calculs hydrauliques sont nécessaires au bon dimensionnement des conduites d'AEP et d'assainissement ainsi qu'au dimensionnement des conduites de drainage des lixiviats. Ce sont des éléments qui permettent d'avoir le diamètre nominal des conduites ainsi que des pressions nominales qu'elles peuvent supporter.

Les paramètres d'entrée usuelle sont les paramètres pluviométriques (*débit, débit en pointe*), les surfaces étanches pour l'évacuation des eaux pluviales, les surfaces «**ouvertes**» du casier pour le drainage des lixiviats, et la hauteur du recouvrement des conduites la matière de recouvrement etc.). Certains fournisseurs proposent la réalisation de ces calculs par des logiciels propres à l'entreprise. Il est recommandé au maître d'œuvre de prendre contact avec les fournisseurs de son choix pour avoir toutes les données techniques nécessaires pour le complément de son dossier APD (*note de calcul, fiche technique, devis pour son estimation financière*).

CASIERS

Calcul de stabilité des digues/géotechniques

Les calculs de stabilité des digues doivent se faire selon les méthodes de calcul géotechniques usuellement reconnues (*méthode de Bishop ou autres*). Actuellement, les bureaux études expérimentés utilisent des logiciels spécialisés.

Les calculs de stabilité des digues doivent se faire aussi bien pour l'état initial (*casier vide*) que pour l'état final (*casier rempli avec les bermes intermédiaires*). Les paramètres d'entrées pour le calcul de stabilité sont :

- Les dimensions exactes des digues intérieures et extérieures (*hauteur, pente, plateau, largeur des bermes et des risbermes*)
- Les matériaux utilisés (*nature, granulométrie, paramètre géotechnique, cisaillement*)
- Les charges et pressions exercées
- Le recouvrement final
- Les matériaux de support (*géologie avoisinante, nature du sous-sol*)

Le résultat du dimensionnement doit faire ressortir :

- L'épaisseur exacte de la géo-membrane
- Sa structure (*texturée, lisse/lisse, lisse/texturée, texturé/texturée, etc.*)
- L'épaisseur/la masse surfacique du géotextile de protection
- D'éventuelle recommandation spécifique (*renforcement supplémentaire etc.*)

Collecte et traitement des lixiviats

La majeure partie des éléments de collecte des lixiviats se fait en APS. Dans la phase APD, viennent s'ajouter le calcul de structures des différents éléments (*regards en béton*), les plans de détails des raccords, jonction et autres éléments sensible. Le dimensionnement des installations de traitement peut s'avérer le plus complexe et le plus difficile. Pour des raisons de facilité et pour ne pas trop restreindre le choix des fournisseurs (*car chacun a probablement des éléments spécifiques et particulier à l'entreprise*), le dimensionnement des installations de traitement se fait de manière fonctionnelle, c'est-à-dire le bureau d'études chargé de la conception se limitera à fournir :

- Les paramètres d'entrée (*quantité/débit des lixiviats, grille de qualité potentielle*),
- Les paramètres de sortie (*valeur limite des rejets*)
- Ainsi que certains paramètres spécifiques (*type(s) de traitement précis, nombre de modules, redondance, agencement en série ou en parallèle, pièces de rechange pour un certain nombre d'années*).

L'entreprise de réalisation se chargera de prendre contact avec un fournisseur de son choix et présentera sa solution qui devra bien sûr répondre à ce cadre requis, lors de l'élaboration de son offre technique.

Le maître d'œuvre devra néanmoins préciser dans le cahier des charges les documents à fournir par le fournisseur pour une comparaison possible des offres.

Dimensionnement pompes

En cas de nécessité d'un pompage (*eaux pluviales, assainissement, lixiviats*), le BET chargé de la conception doit dimensionner les pompes en conséquence (*débit, pression, type étanches ou submersibles*), et faire figurer sur les plans les raccords électriques (*si nécessaire*), le nombre (*2/redondance*), la localisation exacte, les structures porteuses ainsi que tous autres détails nécessaires à la bonne réalisation de l'ouvrage.

Calcul de stabilité des bassins tampons

Le calcul de stabilité des bassins se fait selon la même méthodologie que ceux des casiers avec la seule différence que la ligne de charge d'un bassin d'eau (*lixiviats*) est à environ 50 cm sous le niveau du haut talus.

Avant-Projet détaillé (*dossier à établir*). Le dossier d'APD est composé en grande partie de plans de détails pouvant être catégorisés selon les documents suivants :

PLAN DE MASSE ET DE SITUATION

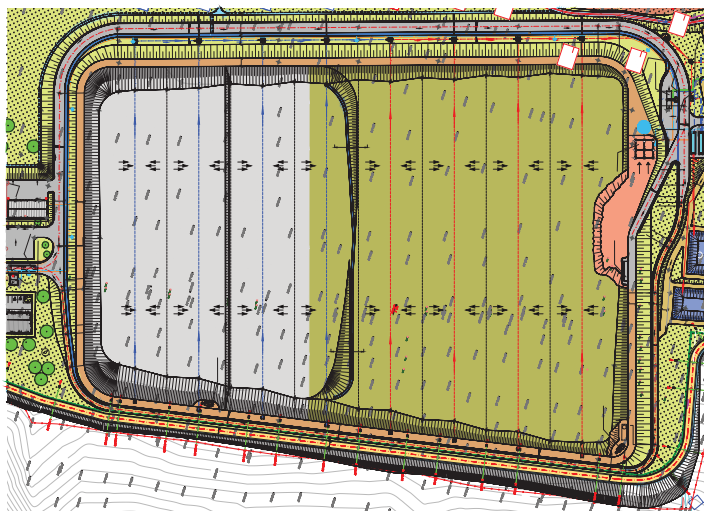


Figure 54: plan de masse d'un casier (état initial)[1]

Le plan de masse comprendra tous les détails nécessaires énoncés dans l'APS en plus des détails additionnels tels que :

- Les côtes fils d'eau
- Les coordonnées exactes des bâtiments et infrastructures
- Le rayon des virages de la voirie
- Les stations de la voirie
- Etc.

PLAN EN FIN DE VIE (FERMETURE DES CASIERS)

Le plan de fin de vie du casier doit comporter toutes les côtes du casier fermée (*après couverture*), des bermes intermédiaires, des voies d'accès (*de contrôle*) menant sur le toit du casier, les éventuelles mesures d'évacuation des eaux pluviales.

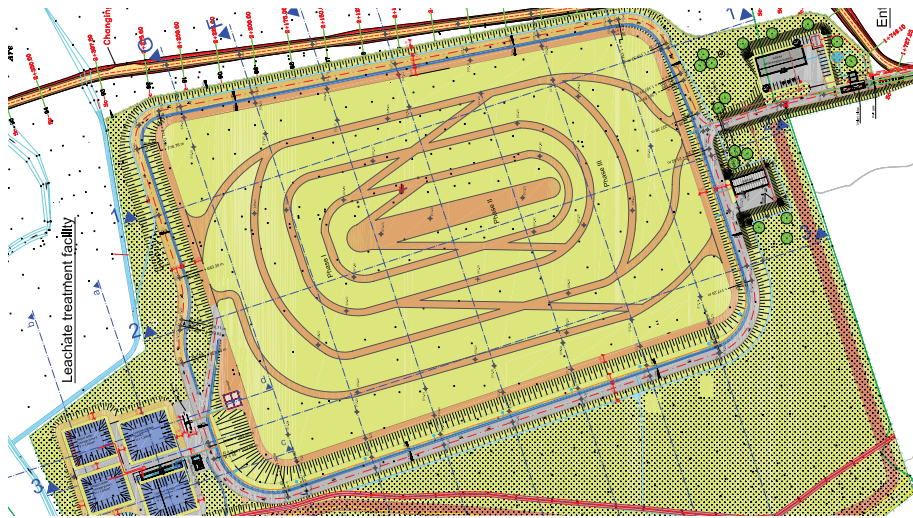


Figure 55: Plan de masse d'un casier (fin de vie)

Le plan final ou de fin de vie du casier permettra à l'exploitant d'avoir une orientation pour ses plans de remplissage périodique

PLANS DE PHASAGE

Les plans de phasage représentent les étapes intermédiaires projetées et élaborées pendant la phase d'avant-projet sommaire. Elles servent aussi d'orientation pour les plans de remplissage de l'exploitant et pour la préparation des extensions.

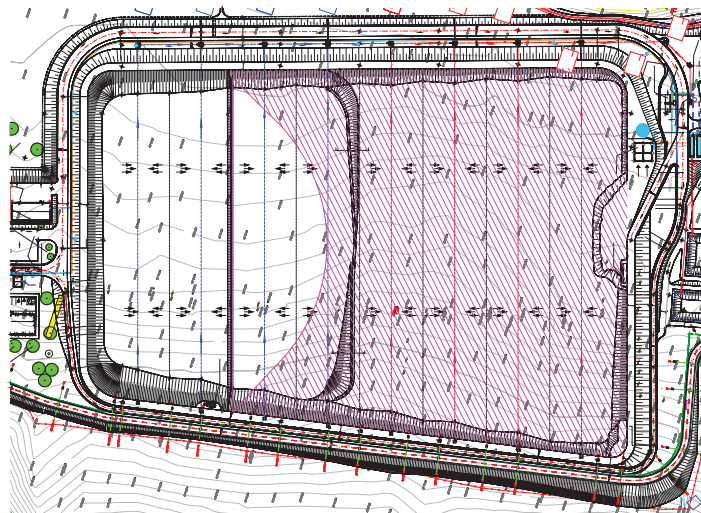


Figure 56: plan de masse d'un casier (phasage)

PLAN DE TERRASSEMENTS

Par l'établissement des profils en long et en travers le BET sera en mesure de calculer avec exactitude le volume de déblai et de remblai nécessaire aux travaux de terrassement. L'élaboration du modèle en 3D est bien sûr aussi valable et même souhaité car le niveau de justesse est meilleur. Pour l'élaboration de profils, un espacement entre les profils de 25 m est le plus usuel. Si le terrain est très accidenté et présente de nombreux points de rupture, alors un autre espacement peut être envisagé par le BET.

L'ÉTANCHÉITÉ PASSIVE

Le dimensionnement de l'étanchéité passive est déjà faite en APS. Le BET devra indiquer en APD les caractéristiques exactes de cette étanchéité (*par exemple sous forme de tableau*) :

- Nature des matériaux (*argile*)
- Composition
- Granulométrie
- Etanchéité
- Paramètre physique (*teneur en eau, densité, etc.*)
- Le nombre de couche (*2 x 25, 3 x 30, etc...*)
- Le taux de compactage à atteindre (*95-98% de la densité Proctor*)

L'ÉTANCHÉITÉ ACTIVE

L'élément central de l'étanchéité active est la géo-membrane. Pour son dimensionnement, voir les chapitres précédents. Le BET doit établir un plan de détail du système d'étanchéité comprenant les différentes couches comprenant la barrière géologique, l'éventuelle étanchéité passive minérale tel que dimensionné au préalable ainsi que les couches de protection (*géotextiles*) et de drainage. Le plan doit être établi à une échelle raisonnable et doit faire figurer :

- Le nombre de couches et l'épaisseur à l'échelle de l'étanchéité minérale
- Le descriptif de la géo-membrane (*son épaisseur, sa structure, sa matière*)
- Le descriptif du géotextile de protection (*masse surfacique, autres informations tel que sa fonction par exemple anti-poinçonnement*)
- Le descriptif et l'épaisseur à l'échelle de la couche de drainage (*épaisseur, granulométrie, type*)

Certains détails spécifiques (*ancrage, passage talus/base du casier etc.*) doivent faire l'objet de plans additionnels.

Les couches de protection

Voir chapitre précédent

Les couches de drainage

Voir chapitre précédent

La collecte et le traitement des lixiviats

Doivent figurer sur le plan d'APD :

- Les dimensions exactes de la conduite de drainage (*diamètre nominal ou diamètre extérieur*)
- Le type (*fissuré ou percé avec les dimensions des perforations, fissurations*)
- La pression nominale de la conduite
- L'épaisseur exacte de la couche de drainage
- L'épaisseur exacte de la couche de drainage au-dessus de la conduite
- L'épaisseur du lit de pos
- Les pentes
- Le type de matériau choisi
- Et tous autres détails significatifs pour la mise en œuvre conforme par l'entreprise de réalisation.

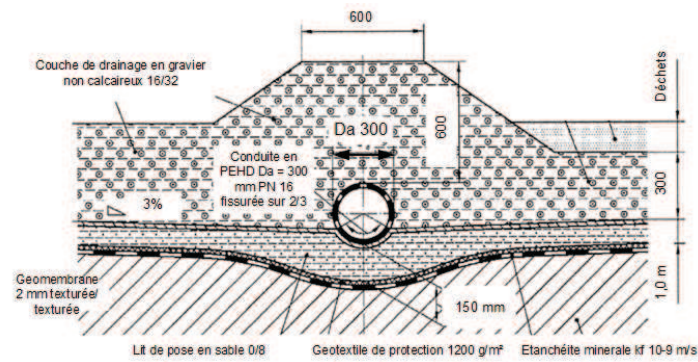


Figure 57: Coupe du système de drainage en APD

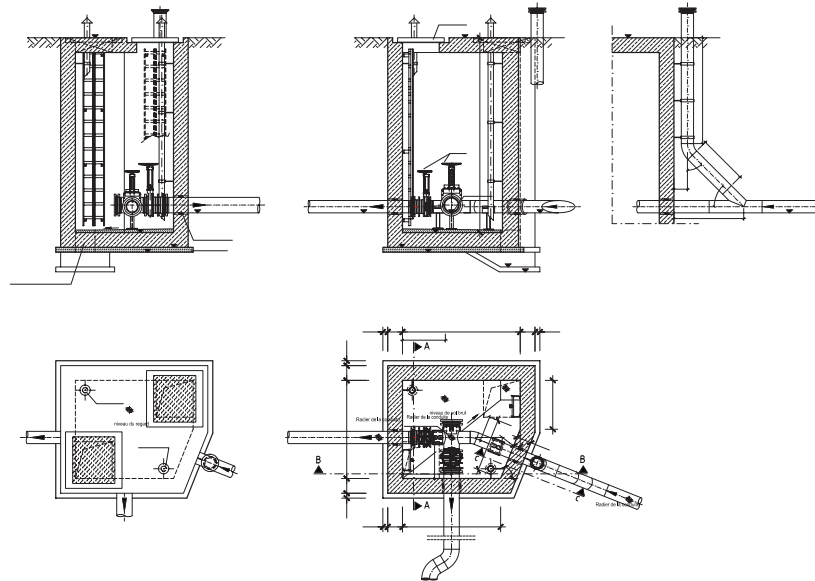


Figure 58: Exemple d'un regard de maintenance et de contrôle en APD



Image 8: regards de contrôle réalisés conforme aux plans d'APD

Pour le regard de collecte, de contrôle et de maintenance doivent figurer sur les plans d'APD :

- Les dimensions exactes de l'ouvrage (y inclus l'épaisseur)
- Le type d'ouvrage (béton ou PEHD, préfabriqué ou in situ)
- Le descriptif des tous les éléments (échelle, ventilation, etc.)
- Le détail des conduites (da ou dn, PN ou SDR, etc.)
- Le détail des raccords
- Les différentes coupes et vues (en plan, coupe en travers, etc.)
- Les côtes (côte fil d'eau, ou côte supérieure et inférieure du regard)
- En cas d'utilisation de coupes types/pré-dimensionnés : Les côtes peuvent être marquées sur un tableau inclus sur le plan APD ;

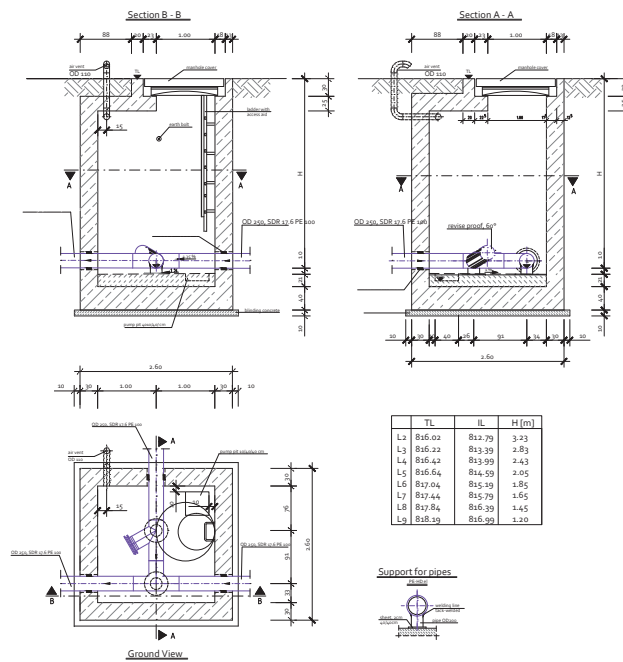


Figure 59: Exemple d'utilisation de coupe type pour regard de contrôle en APD

Dans le cas d'un ouvrage en béton, les plans supplémentaires doivent être élaborés :

- Plan de coffrage
- Plan de ferrailage (avec la note de calcul correspondante)

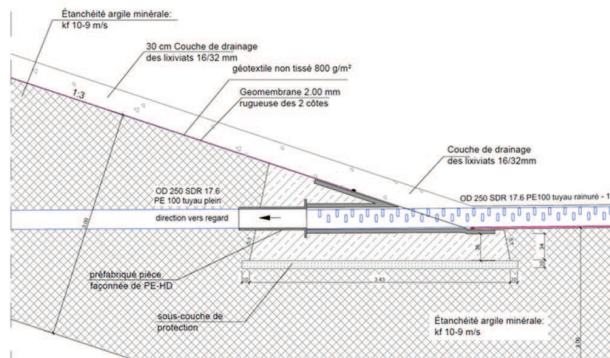


Figure 60: Exemple d'une coupe d'un raccord sur massif béton (APD)

Pour l'édifice de raccord doivent figurer en APD :

- Les dimensions exactes du support (en cas de support béton)
- Les descriptifs des différentes pièces, conduites et éléments
- Les points de soudage et de raccord avec la géo-membrane en talus

LA COLLECTE DES EAUX DE SURFACE

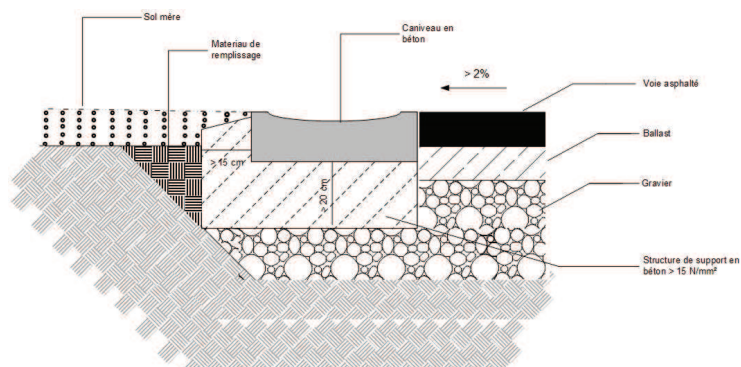


Figure 61: détail d'un caniveau de collecte des eaux superficielle

LA COLLECTE ET LE TRAITEMENT DES BIOGAZ

Comme pour tous les autres éléments, des plans de détails doivent être élaborés pour le dispositif de collecte et de traitement des biogaz. Un plan d'ensemble avec la localisation des puits de collecte doit aussi être établi.

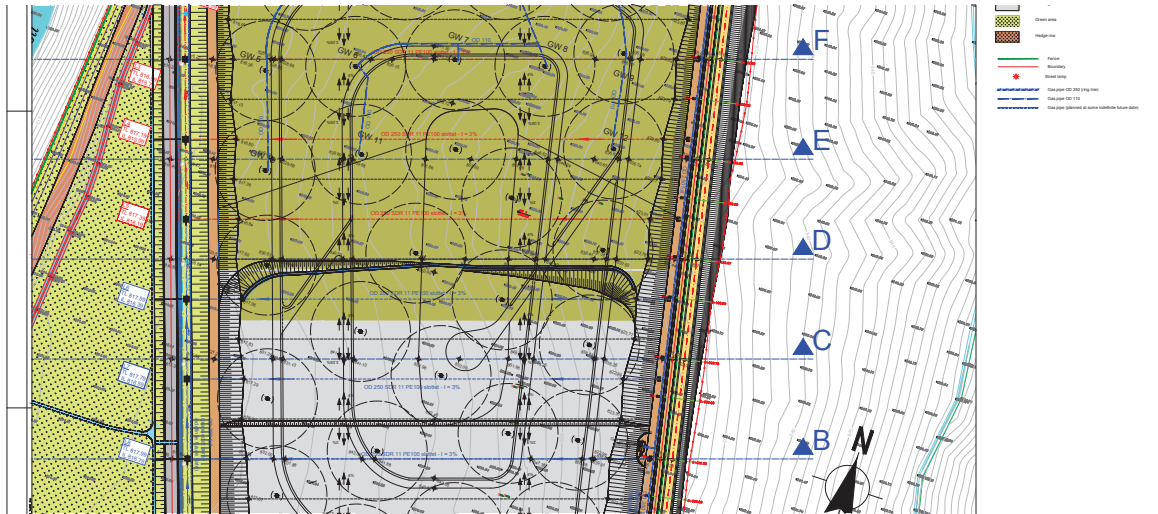


Figure 62: Extrait d'un plan en vue avec emplacement des puits de dégazage



Image 9: station de compression (de collecte des biogaz) réalisée conforme aux plans d'APD

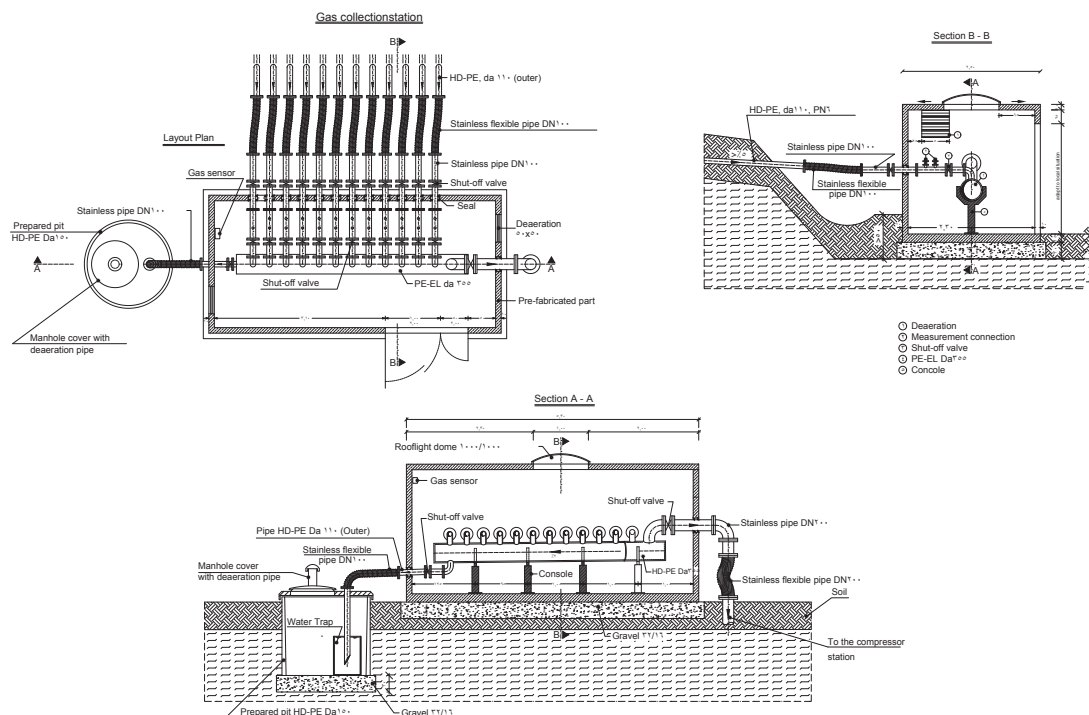


Figure 63: Exemple d'une station de collecte des bioqaz (APD)

LES PLANS DE SIGNALISATION ET DE SÉCURITÉ

Parmi les nouveaux éléments qui doivent être élaborés dans le dossier APD, figurent les plans de signalisation et de sécurité. Ils découlent des recommandations et des informations établies dans les études d'impacts et de danger. Il est recommandé d'élaborer les plans suivants sur la base du plan de masse (*calque additionnel*) :

- Un plan de circulation (*flèche de circulation, signalétique relative à la circulation*) tel que les limites de vitesse et les zones de parking
- Un plan de signalisation générale (*emplacement des poteaux et affiches de signalisation générale du site*)
- Un ou plusieurs plans de signalisation sécurité (*emplacement des signaux de secours, des bouches d'incendie, des trousseaux premier secours ainsi que des points de regroupement en cas d'incendie*);

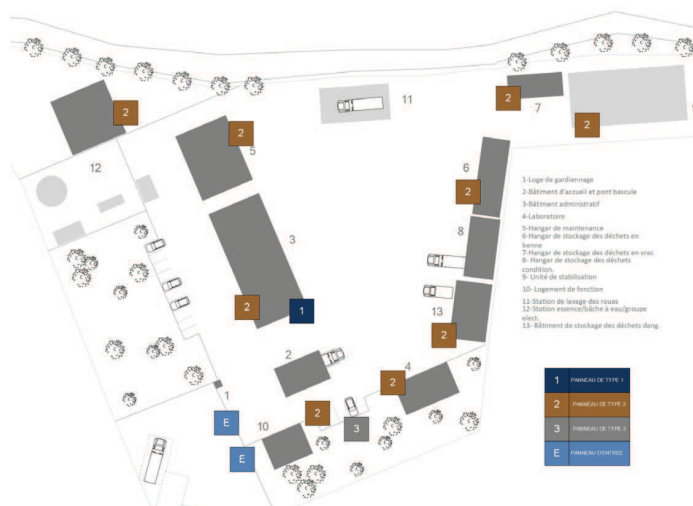


Figure 64: exemple d'un plan de signalisation

Dans le cadre de l'APD, le maître d'œuvre devra aussi élaborer les plans et les croquis de détail pour la signalisation. Une attention particulière doit être attachée à la lisibilité et à la clarté. Les panneaux doivent être normalisés, les couleurs et la police des écritures doivent être sélectionnées selon un choix rigoureux et dans un souci de garder l'image de marque ainsi que l'esprit de l'entreprise.

Parmi les plans de signalisation, une affiche de situation et d'orientation doit être élaborée (*panneau d'information du site*).

Les panneaux de signalisation doivent être résistants aux intempéries et à l'UV.

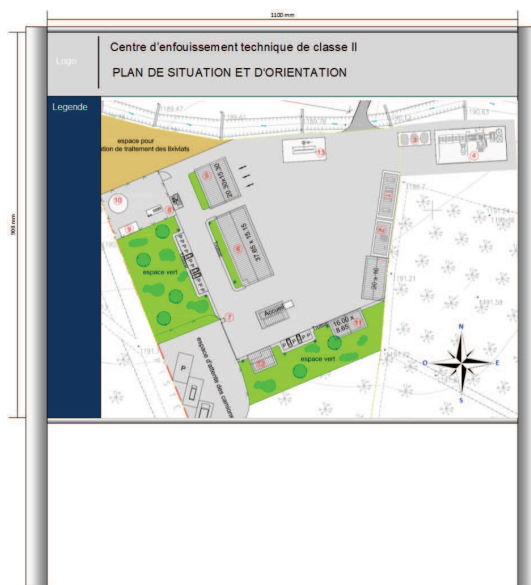


Figure 65: exemple d'un panneau d'information du site



Figure 66: Exemple des panneaux de signalisation du site (dimensionnement

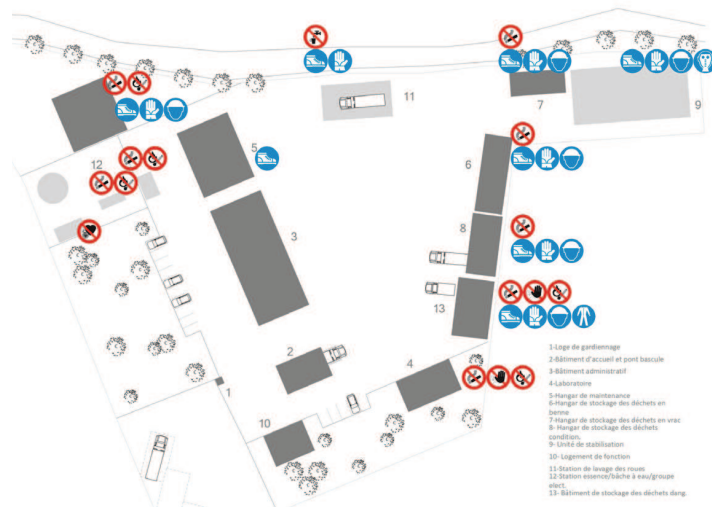


Figure 67: Exemple d'un plan de sécurité spécifique du site (1)



Figure 68: Exemple d'un plan de sécurité spécifique du site (2)

PLANS APD

Les plans d'APD reposent sur les plans élaborés en APS mais complétés par les plans détails significatifs :

- Traitement des espaces extérieurs
- Plans des différents niveaux - Ech. 1/100

- Coupes générales, longitudinales et transversales - Ech. 1/100
- Plans des façades - Ech. 1/100
- Détails significatifs - Ech. 1/50
- Principes de structures - Coupes et zones types
- Principes des fondations - Coupes et zones types
- Tracés unifilaires de réseaux et terminaux sur zones types - Ech. 1/100
- Tracés de principe des réseaux extérieurs
- Etc.

Résumé dossier APD

- Notice descriptive
 - o Présentation du site (*localisation, données générales (climat, environnement, etc.)*)
 - o Présentation des paramètres de dimensionnement : (*déchets, lixiviats, biogaz*)
 - o Présentation de la variante de conception finale retenue
 - o Description détaillée des éléments (*bâtiments, casier, infrastructure, etc.*) y inclus les notes de calculs respectives
 - o Calendrier prévisionnel optimisé de réalisation
 - o Notice estimative des coûts prévisionnels sur la base des quantitatifs calculés
- Documentation graphique (*Plans*)
 - o Plan de masse (*Ech 1 : 2.000, 1 : 1.000 ou 1 : 500*)
 - o Plan VRD (*plan de masse, profils en travers, stationnement*)
 - o Casiers : profils en long et en travers
 - o Plans de phasage
 - o Plans d'état final du site
 - o Plans des différentes infrastructures
 - o Plans de façades et coupes de bâtiments (*1 : 200, 1 : 100*)
 - o Croquis et schéma technique
 - o Détails (*ech 1 : 50, 1 : 20, 1 : 10*)
 - o Plans de signalisation et de circulation
 - o Plans des espaces verts et d'aménagement paysager

LES ÉQUIPEMENTS

Pour une exploitation effective du site, un certain nombre d'équipements doivent être prévus et dimensionnés. En Algérie, c'est pour la plupart du temps le concepteur du site (*maître d'œuvre*) qui est chargé de proposer les équipements techniques adéquats. Certains équipements peuvent être inclus dans le dossier d'appel d'offres de la réalisation du CET. D'autres font l'objet d'un contrat spécifique d'achat d'équipements (*différents lots en fonction du type d'équipement et de l'équipementier*).

Le maître d'œuvre doit prendre contact avec les fournisseurs et équipementier nécessaire non seulement afin d'avoir des devis respectifs mais aussi afin de pouvoir développer les spécificités techniques particulières au site. Souvent les équipementiers possèdent des logiciels ou des aides au dimensionnement gratuit afin de faciliter le choix.

Parmi les équipements à prévoir, il y a les engins d'exploitation (*matériel roulant*) y inclus leurs lots de pièces de rechange respectifs ainsi que le petit matériel (*maintenance, bureautique*) qu'il faut aussi prévoir en fonction des spécificités du site.

LE COMPACTEUR



Image 10: Compacteur de déchets [Source Bomag]

Le compacteur à déchets est l'engin le plus utilisé pour un enfouissement des déchets. Son dimensionnement dépend notamment de la taille du casier, de la hauteur maximale des déchets à enfouir, des heures de travail journalier, de la distance de poussée, du taux de matière organique dans les déchets, du mode opératoire de l'enfouissement (*du bas vers le haut, de haut en bas, en pente, etc.*), de la température ambiante et des exigences du pays en matière d'émission.

Refuse Compactor Selector

Max. waste tonnage per day	450 t/day	Recommendations * M41 reversible fan due to high temperatures or dust + + +
Working hours per day	8 h/day	
Pushing distance	50 m	
Biodegradable amount	60 %	
Operation mode	plain Operation	In general If this is a single compactor solution pls. contemplate the advantages of a two machine variant
Loading jobs	blade version	
Max. ambient temperatur	50 °C	
Emission step	3a emission Step	
Dust level	medium	

BC 572 RB-2 matching solution

no matching Compactor
 * check emission step
 * check blade or shovel version
 * check amount of bio degradable

Image 11: Logiciel de dimensionnement du compacteur de l'entreprise BOMAG

Le compacteur et tout autre équipement en contact avec les déchets doivent être robustes, car ils doivent faire face à des contraintes extrêmes sur le terrain.

Les radiateurs risquent d'être colmatés ou endommagés, des déchets saillants ou disloqués risquent d'être projetés sur la cabine, la carrosserie ou les pièces mobiles de ces équipements. Les pneus risquent d'être perforés ou taillés. L'environnement de travail peut être poussiéreux ou boueux (*glissement*). Les conditions climatiques en Algérie (*chaleur importante durant l'année*) en combinaison avec les procédures d'enfouissement des déchets rendent le travail encore plus pénible.

Il est donc nécessaire de disposer d'un stock de pièces de rechange spécifiques à ces conditions de travail.

UN OU PLUSIEURS CHARGEURS SUR ROUE

Le chargeur sur roue sert principalement à la manipulation des terres et des matériaux de couverture, et éventuellement à la manutention des déchets lors des opérations de tri et de récupération. Il peut être utilisé pour l'enfouissement de la première couche de déchets dans le casier (*environ les 2 premiers mètres*) avant l'utilisation du compacteur lourd qui risque d'endommager les couches et les conduites drainantes. Son taux d'utilisation dépendra des activités de récupération et de couverture.

Les opérations de couverture des déchets (*flanc du casier et éventuellement sommet du casier*) seront assurées au moins une fois par mois. Souvent, il est recommandé de prévoir un petit chargeur pour toutes les opérations de manutention à l'extérieur des casiers d'enfouissement et un chargeur plus grand pour les opérations sur les casiers d'enfouissement.

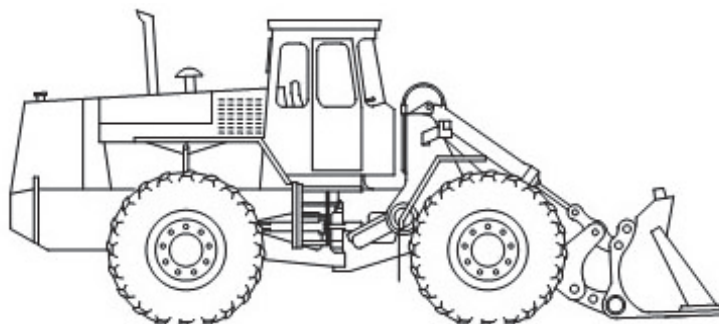


Image 12: chargeurs sur roues

Pour des travaux de déblais, une tractopelle (*combinaison d'un chargeur et d'une pelle excavatrice*) peut être envisagée.

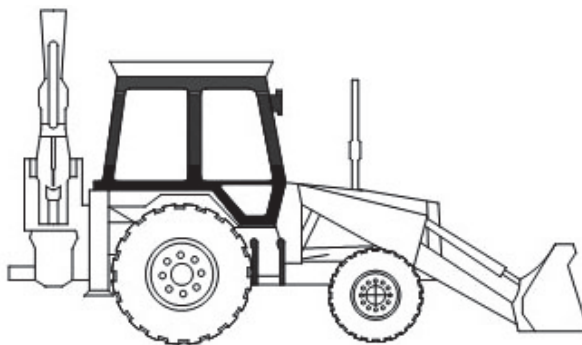


Image 13: tractopelle

UN BULLDOZER (EN OPTION)

Sur les CET en Algérie, on trouve actuellement en plus du compacteur un bulldozer sur chenille.

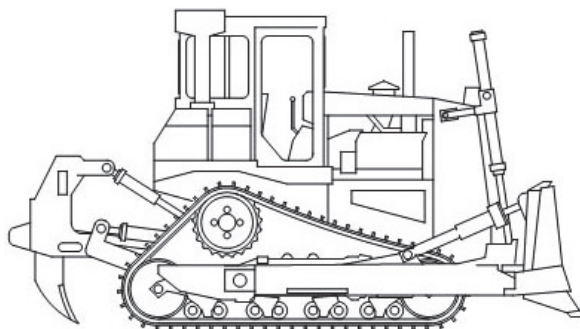


Image 14: Bulldozer

Cet équipement lourd possède aussi de bonnes capacités d'épandage et de compactage. Il est moins spécifique que le compacteur à déchets qui a été développé uniquement au travail sur un site de CET. Si le choix du compacteur s'est porté sur équipement possédant aussi une lame adéquate pour l'épandage, alors le compacteur à lui seul suffit et le bulldozer n'est plus à procurer, ce qui présente une économie de coûts importante.

UN CAMION BENNE

Le camion benne servant surtout à amener les terres de recouvrement sur le site. Surtout si la zone d'emprunt est éloignée. Il peut servir à des transports divers sur le site. Son dimensionnement dépend en grande partie de la taille du site et de la quantité de terre de recouvrement nécessaire par jour.

UN CHARGEUR À GRAPPIN

Sur les sites de CET moderne et possédant d'autres activités (*transfert de déchets, tri, conditionnement, stockage de déchets particuliers*) l'utilisation d'un chargeur à grappin est recommandée. Sa flexibilité permet des opérations de transbordement, de pré-tri, de chargement etc.



Image 15: Chargeur à grappin [source Liebherr]

UNE BALAYEUSE

Pour des sites importants, le nettoyage des voies de circulation peuvent se faire de manière effective avec une balayeuse mécanique.



Image 16: Balayeuse mécanique [source Kärcher©]

UN TRACTEUR OU CAMION-CITERNE

Le camion-citerne est un engin très utile sur le CET. Il peut servir aux opérations de nettoyage et d'entretien sur le site. Muni d'une installation d'arrosage, il peut aussi dépoussiérer les accès et les pistes non revêtus.



Image 17: camion-citerne avec installation d'arrosage [1]

Si des activités de valorisation (*compost*), de récupération et de tri sont prévues sur le site ou si se trouvent sur le site des zones de vieux déchets alors, il est recommandé que le maître d'œuvre prévoie des équipements spécifiques supplémentaires. Tous ces équipements présentent des plus-values intéressantes. En effet, avec des prétraitements adéquats, l'enfouissement et la durée de vie du site peuvent être optimisés.

Les matières récupérées peuvent être valorisées et présenteront des sources de financement supplémentaires pour le gestionnaire.

Parmi ces équipements figurent :

- Les tamis rotatifs

- Les broyeurs/déchiqueteurs
- Les presses à balle
- Les broyeurs pour déchets verts

Ces équipements peuvent être stationnaires (*nécessite un raccord et une demande électrique additionnelle*) ou mobile (*munis d'un moteur diesel*). Le choix et le dimensionnement sont laissés au maître d'œuvre en concertation avec les fournisseurs.



Broyeur/déchiqueteur mobile (source SID©)



Tamis rotatif (source Menard©)



Broyeur à bois (source Jenz©)

Image 18: équipements de prétraitement, de tri et de récupération

Les opérations de tri et de récupération nécessitent aussi des facilités de stockage temporaire et de transport ultérieurs. Il est recommandé de prévoir un lot de conteneur (*type ampli-roll ou benne basculante*) en nombre et volume suffisant.

LA STATION MÉTÉO

Parmi les équipements souvent oubliés mais d'une importance majeure pour la gestion, se trouve la station météo.

Une station météo est peu chère mais rapporte les données météorologiques quotidiennes à l'exploitant. Ces données sont très importantes pour la quantification des lixiviats par exemple. Elle peut être montée au niveau du bâtiment administratif et connectée directement avec un ordinateur de l'administration.



Image 19: station météorologique

Lors de l'élaboration des prescriptions techniques des équipements, il est important pour le maître d'œuvre de connaître la disponibilité des équipements en Algérie surtout en matière de service après-vente, et des disponibilités des pièces rechange. Un point important qui doit être exigé dans le dossier d'appel d'offres est la fourniture des manuels d'exploitation et d'entretien en langue arabe ou française à défaut en langue anglaise car couramment parlée. La non-fourniture de manuel d'exploitation et d'entretien ou la fourniture de ces manuels dans une langue non usuelle doit être un critère d'exclusion

L'ÉQUIPEMENT DE BUREAUX

Les équipements de bureaux doivent être définis en étroite collaboration avec le maître d'ouvrage, de préférence avec l'exploitant (*si déjà connu*) afin de prendre en considération les demandes spécifiques. Le matériel de bureau est dimensionné en fonction du personnel, du nombre de bureaux et des postes de travail prévus. Un nombre suffisant d'armoires et d'étagères pour le stockage et l'archivage des données doit être prévu. Les équipements de bureaux et de stockage au niveau des espaces de maintenance sont spécifiques et doivent être prévus en conséquence (*cuve de récupération des huiles pour tonneaux, etc.*).

Le maître d'œuvre devra établir une liste exhaustive qui fera partie intégrante des prescriptions techniques même s'il prévoit l'acquisition de cet équipement par un prix forfaitaire.

L'ÉQUIPEMENT DE MAINTENANCE

Le maître d'œuvre devra prévoir un lot d'équipements pour la maintenance et l'entretien des équipements. Ce lot est constitué du kit complet et usuel de garagiste (*set de clé, set de tournevis, compresseur, scie à métaux, chignole etc.*) ainsi que d'un nettoyeur à haute pression chaud et froid.

LES ÉQUIPEMENTS DE SECOURS

La troisième catégorie des équipements à prévoir est la catégorie des équipements de secours. Parmi ces équipements, on compte le générateur de secours (*groupe électrogène*) suffisamment dimensionné (*en fonction de la demande électrique*) ainsi que les équipements de premiers soins et de secours (*extincteurs, etc.*)

Le maître d'œuvre devra établir une liste exhaustive qui fera partie intégrante des prescriptions techniques même s'il prévoit l'acquisition de cet équipement par un prix forfaitaire.

Note particulière

Lors du dimensionnement des bassins de stockage des lixiviats, il est fortement recommandé au maître d'œuvre de prévoir une conduite de sortie ou deux conduites d'entrée de bassins de lixiviats des débitmètres.



En effet, cet instrument servira à déterminer de manière adéquate le flux journalier de lixiviats. En combinaison avec la station météo, il sera même possible de développer des corrélations entre production de lixiviats et pluviométrie

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉLABORATION DE PLANS

Parmi les critères de qualité exigés pour le maître d'œuvre, figure l'élaboration de plans selon les règles et les normes internationales.

Un plan doit comporter une cartouche

- La cartouche doit mentionner:
- Le nom et les coordonnées du maître d'ouvrage
- Le nom et les coordonnées du maître d'œuvre
- L'intitulé du projet
- Le nom du plan
- L'échelle
- La version
- La date d'élaboration
- Le nom de l'ingénieur qui a conçu le plan
- Le nom du dessinateur du plan

Un plan doit comporter:

- Une orientation (*dans le cas des plans de masse*)
- Une légende

République Algérienne Démocratique et Populaire Wilaya de XXX Direction de l'Environnement de XXX			
CET de XXX		Annexe	
Intitulé du plan		Feuille N°	
		Echelle 1:50.000	
Maître de l'ouvrage: Direction de l'Environnement de la Wilaya de XXX Adresse			
		N° de Projet	Classe
		Statut	
		Observations	
		Commentaire	
		Projet AutoCard	Tirage
			Signature

Figure 69: Exemple d'une cartouche de plan

Tous les détails nécessaires à la compréhension et à l'exécution

S'il y a plusieurs coupes type sur un plan à différentes échelles, alors chaque échelle doit être mentionnée à côté de chaque coupe et toutes les échelles doivent être mentionnées sur les cartouches.

Si un plan est trop grand et que certains détails ne peuvent pas être visionnés alors ces détails doivent être marqués et un plan de détail doit être élaboré sur un autre plan (*ou sur le plan lui-même à côté du plan principal*)

- Un plan doit être à une échelle normée
- Un plan ne devrait pas dépasser les normes de feuilles d'impression (*max. A0*)
- Si un plan (*p.ex. un plan de masse*) est trop grand pour l'impression alors il peut-il peut être mis sur plusieurs feuilles
- Alors chaque plan doit préciser le numéro de la feuilles
- Le plan complet devrait être présenté en petit sur chaque feuille avec un marquage exact de la coupure.

Un plan doit être plié et préparé selon des normes (*si vous mettez le plan dans un classeur par exemple, n'oubliez pas de plier le plan de telle façon à laisser une bordure pour la perforation des trous*)

Faltung auf Ablageformat nach DIN 824 Form A
(alle Angaben in mm)

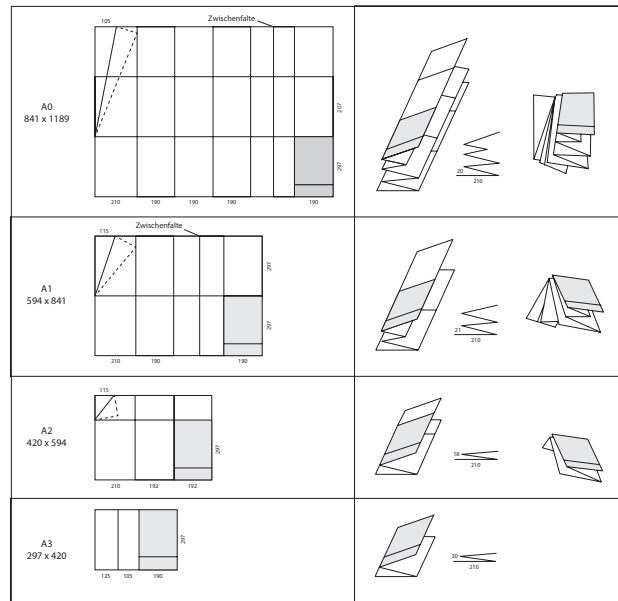


Figure 70: Pliage des plans selon normes (DIN 824)

DOSSIER D'APPEL D'OFFRES

ÉLABORATION DU DOSSIER D'APPEL D'OFFRES

Le dossier d'appel d'offres doit être élaboré sur la base de l'APD.

D'une manière générale, ce dossier comprend les éléments suivants:

- Informations sur l'administration lançant l'appel d'offres et sur les conditions de participation à l'appel d'offres (*ces renseignements ne font pas partie du futur contrat de travaux*) ;
- Conventions contractuelles ;
- Spécifications techniques ;
- Plans d'exécutions (APD)
- Bordereau des prix ;

Ainsi que toutes les indications (*données topographiques, expertises etc.*) sur lesquelles reposeront les travaux en bonne et due forme. Sur demande des participants, des renseignements complémentaires ne faisant pas partie du marché de travaux peuvent être mis à disposition (*EIE, EDD par exemple*).

Première partie : notice d'appel d'offres et instructions aux soumissionnaires

Cette partie contient toutes les instructions et les informations nécessaires pour les soumissionnaires afin de recevoir des offres présentées sous les mêmes conditions et par conséquent comparables. Cette partie présente les règles et les conditions de participation des entreprises selon le code des marchés publics algérien. Cette partie ne fera pas partie du contrat par la suite. Pour cette partie, il existe déjà des modèles établis par les administrations qui peuvent être utilisés et réadaptés aux particularités de l'appel d'offres (*critère d'évaluation et de sélection par exemple*).

Deuxième partie : les clauses administratives

Cette partie contient toutes les règles contractuelles non techniques dans le cadre d'un marché de travaux, à savoir:

- Cahier des Clauses Administratives Générales (CCAG)
- Cahier des Clauses Administratives Particulières (CCAP)

Pour cette partie des modèles sont aussi disponibles, à défaut le maître d'œuvre peut retranscrire certains passages du code des marchés publics ou utiliser les modèles élaborés par la « **Fédération internationale des ingénieurs conseils** » (FIDIC) en particulier du livre rouge intitulé « Conditions de contrat applicable aux travaux de construction » :



Image 20: Livre rouge de la FIDIC©

TROISIÈME PARTIE : LES CLAUSES TECHNIQUES

Cette partie contient toutes les règles contractuelles techniques dans le cadre d'un marché de travaux, à savoir:

- Cahier des Clauses Technique Générales (CCTG)
- Cahier des Clauses Technique Particulières (CCTP)

C'est cette partie que le maître d'œuvre doit préparer sur la base des documents techniques qu'il a élaborés le long du projet.

Le Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) est un document qui présente surtout le site, les différents intervenants, les obligations et responsabilités de chacun ainsi que les relations contractuelles qui les lient. Ce document présente aussi les aspects relatifs à l'organisation générale du chantier et les documents à fournir pendant et à la fin de la réalisation.

Un exemple (*non exhaustif*) de la table des matières d'un CCTG est fourni ci-dessous :

Chapitre 1 : Organisation de chantier

- Article 1. Connaissance des lieux
- Article 2. Documentation sur les conditions de réalisation des travaux
- Article 3. Domicile du cocontractant
- Article 4. Facilités pour le cocontractant
- Article 5. Voies de communication et d'accès
- Article 6. Usage des voies de communication et d'accès
- Article 7. Réseaux divers desservant les installations de chantier
- Article 8. Base de vie
- Article 9. Assainissement et hygiène de la base de vie
- Article 10. Service médical
- Article 11. Service social du chantier, cantine
- Article 12. Personnel du cocontractant
- Article 13. Sécurité du personnel
- Article 14. Infrastructure de chantier
- Article 15. Matériel de chantier
- Article 16. Equipement topographique et de laboratoire
- Article 17. Gardiennage du chantier et de la base de vie
- Article 18. Protection contre l'incendie
- Article 19. Stockage et utilisation des matières dangereuses

Chapitre 2 : Réalisation des travaux

- Article 20. Représentant du maître d'ouvrage
- Article 21. Représentant du cocontractant
- Article 22. Etude, dessins d'exécution et autres documents

- Article 23. Modification de la spécification des ouvrages
- Article 24. Dossiers de plans conformes à l'exécution
- Article 25. Etudes relatives aux procédés de construction
- Article 26. Provenance des fournitures, équipements, matériels, matériaux et produits
- Article 27. Normes et essais relatifs aux matériaux
- Article 28. Transport et stockage des matériaux d'emprunt et des matériaux fabriqués
- Article 29. Levés topographiques complémentaires
- Article 30. Coordination avec entreprise tierce et sous-traitant
- Article 31. Dossier Technique
- Article 32. Rapports trimestriels et mensuels
- Article 33. Réunion de coordination
- Article 34. Liaison entre le maître d'ouvrage et le cocontractant
- Article 35. Enlèvement des matériaux sans emploi
- Article 36. Documents photographiques
- Article 37. Documents fournis après exécution

Le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) donne toutes les spécificités et exigences en fonction de la particularité du chantier. Il donne les informations sur la consistance des travaux, les normes à respecter, les descriptifs techniques de tous les matériaux et équipements afin que les soumissionnaires puissent estimer leurs coûts de la manière la plus adéquate possible.

Ci-dessous est présentée la table des matières/le contenu (*non exhaustif*) d'un CCTP à titre d'exemple

Chapitre 1: Description générale des travaux

- Article 1. Définitions
- Article 2. Consistance des travaux
- Article 3. Données techniques générales (*emplacement et accès, climatologie, topographie du site, environnement, géotechniques*)
- Article 4. Délais d'exécution des travaux
- Chapitre 2: assurance qualité
- Article 5. Généralités
- Article 6. Contrôles de l'exécution des prestations (*contrôle technique, contrôle visuel de l'aspect général, contrôles des documents et rapports remis par le cocontractant au maître d'ouvrage*)
- Article 7. Rapports d'exécution des travaux
- Article 8. Essai et analyses

Chapitre 3 : Normes

Chapitre 4: Réception des travaux

- Article 9. Réception finale des travaux (*réception de travaux, certificat de fin du délai de garantie*)
- Article 10. Contrôles (*suivi géotechnique, contrôles et suivi des travaux*)

Chapitre 5: Travaux de terrassement

- Article 11. Objet
- Article 12. Domaine d'application (*terrassements*)
- Article 13. Connaissance des terrains à excaver
- Article 14. Travaux topographiques
- Article 15. Travaux de terrassement
- Article 16. Provenance des matériaux et essais d'aptitude

Chapitre 6: Voies de communication

Chapitre 6: Voies de communication

Article 17. Objet

Article 18. Route d'accès principale, voies de circulation zone administrative

Article 19. Passage à niveau

Article 20. Voiries (préparation et finition du fond de forme, couche de base (*chaussée*), imprégnation au cut-back fluide 0/1, ordure en béton brut pour espaces verts et trottoirs, essais et prélèvements relatifs aux matériaux de remblais pour chaussées, essais sur les remblais mis en place pour chaussées et plateformes, essais et prélèvements sur le tout-venant concassé pour chaussée (*couche de fondation et couche de base*), essais sur agrégats pour bétons bitumineux, essais sur les bitumes

Article 21. Réseaux divers (*caniveau trapézoïdal pour évacuation des eaux de pluie, tuyau d'évacuation des eaux de ruissellement (béton armé), regard en béton armé pour réseau d'évacuation des eaux pluviales avec couvercle et grille en fonte*)

Chapitre 7: Systèmes d'étanchéité et recouvrement

Article 22. Objet

Article 23. Système d'étanchéité de base, drainage et collecte des lixiviats

Article 24. Étanchéité de surface, et recouvrement final du casier n°1

Article 25. Géotextile (*généralités, réalisation, application, application des couches suivantes*)

Article 26. Géomembrane (*généralités, réalisation, application générale, application sur site, soudure, contrôle des points de soudure, travaux d'amélioration, détails constructifs, réception provisoire, application des couches suivantes*)

Chapitre 8: Traitement des lixiviats

Article 27. Objet

Article 28. Bassin d'oxydation

Chapitre 9: Conduite, raccords, regards et pièces de construction

Article 29. Généralités

Article 30. Certificat d'aptitude

Article 31. Réalisation (*conduite et raccord, regards et pièces de construction*)

Article 32. Réception pour pose

Article 33. Mise en place

Chapitre 10: Génie civil

Article 34. Généralités

Article 35. Agrégats (*provenance, qualité et fabrication des agrégats pour le béton, agrégats fins pour béton gros agrégats*)

Article 36. Moellons pour bétons cyclopéens et blocage

Article 37. Blocs en corps creux de dimensions usuelles : hourdis et parpaings

Article 38. Ciment

Article 39. Eau de gâchage

Article 40. Adjuvants au béton (*produits destinés à accélérer le durcissement du béton, produits entraînant l'air, plastifiants, retardateurs de prise, produits destinés à la protection du béton*)

Article 41. Chaux grasse

Article 42. Armatures (*généralités, caractéristiques géométriques, caractéristiques mécaniques, caractéristiques d'adhérence, soudabilité, domaine d'emploi, stockage et préparation des aciers*)

Article 43. Vérification des matériaux de toute nature

b - Ouvrages en béton armé

Article 44. Compositions

Article 45. Contrôles et essais (*autocontrôle, résistance à la compression, affaissement, essais d'étanchéité à l'eau, essais d'étanchéité des conduites, contrôle et essais*)

Article 46. Préparation et malaxage

Article 47. Façonnage et arrimage des armatures (*façonnage, pose et ligature*)

Article 48. Opérations préliminaires avant le bétonnage (*généralités, fonds de fouille, contrôle de profils des fouilles à bétonner, surface de reprise*)

Article 49. Coffrages-étagages (*coffrages ordinaires, coffrages soignés, coffrages pour parement fin, joints des coffrages, étanchéité des coffrages, caractéristiques mécaniques des coffrages, préparation des coffrages*)

Article 50. Bétonnage (*transport, mise en place, conservation et décoffrage, état de surface*)

Article 51. Mise en place des hourdis

Article 52. Béton cyclopéen

Article 53. Blocage en tout-venant sélectionné et chape en béton (*dallage*)

Article 54. Joints de dilatation et de construction (*joints type mastic élastomère ou plastique, mastic pour calfeutrement des joints d'étanchéité*)

Chapitre 11 : Plomberie sanitaire

(*objet des travaux, dessins et caractéristiques, nettoyage et protection, conditions générales, type d'appareil sanitaire, chauffe-eau électrique, tuyauteries, robinetteries, boîtes de visites, regards*)

Article 59. Système d'évacuation des eaux pluviales 75

Article 60. Peintures

Article 61. Garantie et essais

Chapitre 12 : Menuiserie métallique

Article 62. Spécifications générales

Article 63. Peinture antirouille

Article 64. Conditions générales d'exécution

Article 65. Profilé

Article 66. Clôture grillagée

Article 67. Portail métallique d'accès

Chapitre 13 : Menuiserie bois

Article 68. Conditions générales (*parements et assemblage, pose*)

Article 69. Quincaillerie

Article 70. Porte en bois en teck massif

Article 71. Porte en bois en bois latte

Article 72. Porte en aggloméré de bois

Chapitre 14 : Peinture-étanchéité

Article 73. Conditions générales

Article 74. Peinture à base de latex

Article 75. Peinture à l'huile sur bois ou sur enduits

Article 76. Peinture à l'huile sur métal

Article 77. Badigeon à la chaux

Article 78. Peinture à base de latex et masticage

Article 79. Peintures spéciales

Article 80. Vernissage du bois

Article 81. Étanchéité de terrasses et de toitures (*travaux préparatoires, membrane d'étanchéité, mise en place*)

Article 82. Provenance et qualité des matériaux

Chapitre 15: carrelage et revêtement

Article 83. Conditions générales

Article 84. Carrelage en mosaïque de ciment ordinaire

Article 85. Carrelage en mosaïque de ciment blanc

Article 86. Carrelage en grès cérame

Article 87. Revêtement en dallage

Article 88. Marches d'escalier

Chapitre 16: Vitrerie

Article 89. Conditions générales

Article 90. Verre ordinaire

Article 91. Verre teinté

Article 92. Miroirs de 6 mm

Chapitre 17: Électricité**a - Courants forts**

Article 93. Généralités

Article 94. Caractéristiques des matériaux (*généralités, équipements moyenne tension, caractéristiques du réseau, normes, transformateur de puissance mt/bt, équipements basse tension, disjoncteur, prises de courant monophasé, prises de courant triphasé, prise de terre*)

Article 95. Appareils d'éclairage

Article 96. Mode d'exécution des travaux (*installation de chantier, stockage des matériaux, travaux d'électricité*)Article 97. Essais (*généralités, types d'essais*)**b - Courants faibles (installations téléphoniques)**

Article 98. Généralités

Article 99. Circuits de distribution

Article 100. Prises téléphoniques

Article 101. Groupe électrogène (*conditions générales, mise en service-essais*)**Chapitre 18: Travaux divers**

Article 102. Aménagement paysager

Article 103. Panneaux permanent d'information

PLANS D'APD OU D'EXÉCUTION

La quatrième partie comprend la liste des plans et tous les plans joints au dossier d'appel d'offres élaborés par le maître d'œuvre en APD.

BORDEREAU DES PRIX UNITAIRES (BPU) ET DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF (DEQ)

Le bordereau des prix doit indiquer toutes les prestations à effectuer, leur type et l'unité de calcul et leur quantité prévue, en les décrivant de manière suffisamment exhaustive afin que le soumissionnaire puisse chiffrer chaque position. À cet égard, il convient de veiller à ce que la description des prestations à fournir soit claire et précise de manière à éviter toute contestation ultérieure reposant sur une interprétation divergente.

La Réglementation algérienne prévoit pour des projets de construction complexe comme celui d'un CET la procédure d'appel d'offres par prix unitaire. Ceci est aussi la norme internationale (*FIDIC « livre rouge »*). Néanmoins, le CET est un ouvrage tellement complexe incluant aussi des installations qui ne peuvent pas être séquencées en prix unitaire. Pour ces installations (*traitement des lixiviats par exemple, ou Equipment roulant*) la position de prix sera forfaitaire mais avec une description technique précise au niveau du CCTP des installations afin de ne pas avoir d'ambiguïté et afin d'avoir des offres comparables.

Remarque

Pour la plupart des travaux (*hormis les installations citées ci-dessus*), le quantitatif peut être établi à travers les plans d'APD (*s'ils ont été bien faits*). Les seules quantités qui doivent être révisées pour le bordereau des prix unitaires sont les terrassements en grande masse (*déblais et remblais*). En effet, les quantités calculées par les profils lors de l'APD doivent être multipliées par un coefficient représentant le foisonnement lors des déblais ou remblais (*foisonnement = capacité d'un sol ou de gravats à augmenter de volume lors du déplacement du matériau*)

INFORMATIONS ET DOCUMENTS SUPPLÉMENTAIRES CONTRACTUELS

Parmi les documents supplémentaires à fournir à l'entreprise et faisant partie intégrante du contrat, on trouve

- Le levé topographique initial du site
- Ainsi que les rapport(s) d'investigation sur le site

Pour le CET, la fourniture par le maître d'œuvre d'une version provisoire d'un Plan d'assurance Qualité PAQ (voir chapitre prochain) est fortement recommandée et plus que nécessaire.

Les dossiers à fournir aux entreprises lors de l'appel d'offres :

- Le levé topographique
- Les coupes géologiques
- Le rapport géologique
- L'étude de conception ou avant-projet sommaire (si l'appel d'offres comprend uniquement la réalisation)
- PAQ (1ère version)

INFORMATIONS NON INCLUES NON CONTRACTUEL

Parmi les documents pouvant être fournis à l'entreprise à titre d'information et ne faisant pas partie du contrat peuvent être par exemple: une synthèse de l'EIE, et de l'EDD.

LE PLAN D'ASSURANCE QUALITÉ - PAQ

La bonne qualité des travaux doit être assurée dès la phase des études par l'élaboration d'un plan de gestion de la qualité ou plan d'assurance qualité (PAQ) qui sera actualisé et optimisé au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

Tout au long des études, des négociations de marché et de l'exécution des travaux, le PAQ fait l'objet de modifications, compléments et d'adaptations en fonction des circonstances et de l'apparition éventuelle de nouvelles conditions. Le PAQ ne doit par conséquent pas être considéré comme un document rigide, mais au contraire comme un outil flexible à utiliser au cours de la réalisation du projet. La grille des investigations et analyses nécessaires peut par exemple être resserrée ou élargie en fonction des circonstances.

Le PAQ est élaboré en concertation avec les autorités de surveillance et les acteurs intervenants dans la réalisation des travaux (*maître d'ouvrage, direction des travaux, entrepreneurs*) et être accepté par ces derniers qui le confirment en y apposant leur signature. Sa première version est élaborée par le maître d'œuvre et devrait faire partie déjà du dossier d'appel d'offres dans la partie document complémentaire contractuel.

Les mesures suivantes doivent être définies et comprises dans le plan d'assurance qualité :

Preuves de convenue des matériaux et produits de construction : En principe, un certificat attestant la convenance de chaque matériau et produit de construction retenus doit être produit, la même chose vaut pour toutes les méthodes de construction prévues. Ces certificats doivent reposer sur des essais de convenance pertinents.

Les résultats des essais de convenue permettent de dresser un tableau des exigences de qualité qu'il conviendra de respecter lors de la production et de la transformation des matériaux et produits de construction et lors la réalisation des pièces définitives entrant dans l'installation ou l'ouvrage projeté.

La conformité de la qualité tout au long de la production/fabrication des matériaux de construction ainsi que dans le cadre de leur fourniture sur le chantier et lors de leur mise en œuvre doit faire l'objet d'une supervision par les différents entrepreneurs (*supervision interne*) et par un organisme externe (*supervision externe*); la nature et l'étendue des contrôles/inspections doivent en outre faire l'objet d'une description détaillée.

Description de la production/fabrication des pièces entrant dans la composition des installations/ouvrages et consignes pour le traitement des matériaux/produits de construction.

Preuve de stabilité : La stabilité de tous les composants entrant dans la construction et, en particulier, la sécurité au glissement des couches doit être attestée sur la base d'une étude correspondante.

Documentation : Les résultats des contrôles et supervisions internes et externes, des essais de convenance et des études de stabilité doivent être documentés dans le plan d'assurance qualité.

PARTIE III

LA RÉALISATION

PARTIE III

LA RÉALISATION



RÉALISATION

Les travaux de réalisation peuvent commencer lorsque l'entreprise aura fourni les documents et dossier suivant :

Les dossiers à fournir par l'entreprise lors du début des travaux :

- Les cautions (*de bonnes exécutions, d'avance sur approvisionnement, etc.*)
- Le permis de construire (*démarche entreprise au préalable par le maître de l'ouvrage*)
- Un planning de travail actualisé
- Les assurances
- Plan d'installation de chantier
- Plan général de coordination
- Plan d'hygiène et de sécurité
- Plan de détail (*éventuellement pour certaines infrastructures*)

RESPONSABILITÉS

La description des responsabilités et du schéma de contrôle présente un cas idéal fortement recommandé mais qui, actuellement, n'est pas encore appliqué en Algérie.

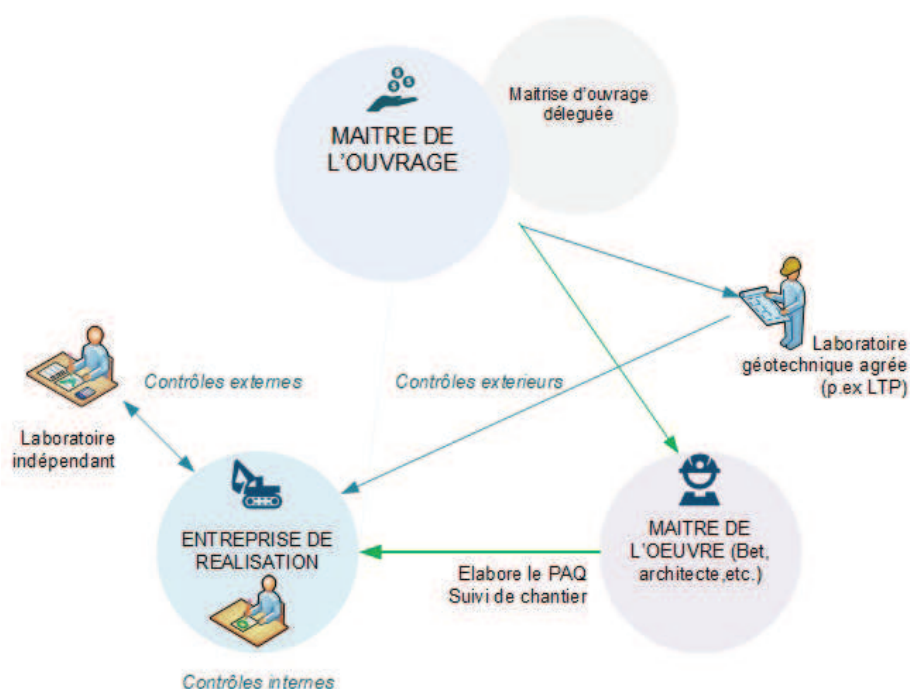


Figure 71: responsabilités et niveaux de contrôle lors de la réalisation

Les responsabilités assumées dans le cadre de l'élaboration, de l'exécution et du contrôle du système d'assurance qualité sont réparties entre:

- Le maître de l'ouvrage ou son délégué qui assume le suivi des travaux sur le chantier par le biais du maître d'œuvre (*élaboration du plan d'assurance qualité*) ou par une entreprise (*engagée uniquement pour le suivi*)
- Le maître de l'ouvrage devrait aussi faire appel à un bureau ou un laboratoire agréé pour un contrôle extérieur
- L'entrepreneur chargé de l'exécution des travaux (*par le biais des contrôles internes et par un bureau ou un institut d'ingénieurs géotechniques indépendants chargé des contrôles externes*), pour le compte de l'entrepreneur

Donc mis à part les différentes responsabilités, on distingue trois niveaux de contrôles, dont les spécificités sont décrites dans les paragraphes suivants :

- Contrôle interne,
- Contrôle externe,
- Contrôle extérieur.

La réalisation de ces contrôles et leur fréquence dépend de la nature des projets, de la classe de conséquence de l'ouvrage, de sa dimension, de sa destination, de l'utilisation de produits et d'applicateurs (*soudeurs, chefs de chantiers, entreprises*) certifiés.

CONTRÔLES INTERNES

Les contrôles internes sont réalisés par du personnel de l'entreprise d'application qui participe à la mise en œuvre. Il est réalisé par le soudeur (*contrôle des paramètres de soudage, contrôle visuel, ...*) et/ou par le chef de chantier (*contrôle à la réception des matériaux et contrôle des assemblages*).

Ces contrôles concernent la totalité des assemblages et nécessitent la présence sur chantier de matériel adapté et en état de marche (*cloche à vide, tensiomètre de chantier, aiguilles de mise en pression avec manomètre...*).

Ils comprennent, entre autres, le contrôle :

- Des étiquetages,
- Des matériels,
- Du respect du plan de calepinage,
- Visuel de la partie courante des composants du système d'étanchéité et des assemblages,
- La vérification des paramètres de machine,
- De la qualité et de la conformité de l'intégralité des assemblages,

Les résultats des différents contrôles sont formalisés sur des fiches de contrôle consultables sur site par le contrôle extérieur lors de sa revue documentaire.

Lorsque cela est demandé, des échantillons ainsi que les éprouvettes réalisées au titre du calibrage des machines à chaque reprise de travail seront conservés à l'abri sur le chantier jusqu'à la fin de ce dernier.

Cela permettra, le cas échéant, de réaliser des essais a posteriori sur ces échantillons conservatoires.

Le plan de contrôle interne sera décrit dans le plan de contrôle du chantier et dans le PAQ de l'entreprise en s'appuyant sur les documents techniques correspondant au type d'ouvrage.

L'entrepreneur chargé des travaux doit assurer et garantir par le biais d'autocontrôles une qualité suffisante des différents matériaux utilisés. Si les essais effectués se soldent par des résultats négatifs, le coût des essais et des analyses complémentaires d'autocontrôle nécessaires sont à la charge de l'entrepreneur. En cas d'insuffisance ou de vices, l'entrepreneur doit réparer ou modifier en conséquence les travaux effectués en concertation avec les experts respectivement mandatés. Les différents essais complémentaires requis seront à la charge de l'entrepreneur. L'ingénieur chargé par le maître de l'ouvrage du suivi des travaux est en droit d'étendre ou de réduire les champs d'essai en fonction des conditions sur le site et localement en vigueur.

L'entrepreneur chargé des travaux peut confier la réalisation des contrôles internes qu'il doit effectuer à ses propres salariés, dans la mesure où ils sont qualifiés pour ce faire, ou les confier en sous-traitance à un bureau ou un institut externe. Il doit pouvoir effectuer tous les analyses et essais nécessaires avec fiabilité, c'est-à-dire que la qualité des essais doit être assurée par des méthodes reproductibles et vérifiables.

CONTRÔLES EXTERNES

Le contrôle externe, réalisé pour le compte de l'entreprise, par une personne ne participant pas à la mise en œuvre (*contrôle qualité de l'entreprise, prestataire externe*) est un contrôle par sondage qui permet de valider le contrôle interne. Il ne peut être réalisé que dans les zones déjà contrôlées en interne.

Sa fréquence est définie au CCTP et concernera un minimum de 30% des assemblages.

Ce contrôle pourra comprendre des prélèvements pour la réalisation d'essais destructifs sur les matériaux aux fins d'identification ou sur leurs assemblages. Le plan de contrôle externe sera décrit dans le plan de contrôle du chantier en s'appuyant sur les documents techniques correspondant au type d'ouvrage.

L'organisme de contrôle externe pour composants en plastique doit être en mesure de réaliser les inspections requises sur les composants en plastique et géomembranes utilisés dans le cadre de l'aménagement de CET:

- Pose des géomembranes ;
- Pose des géotextiles destinés à protéger les géomembranes ;
- Raccords entre les lés des géomembranes et les systèmes d'étanchéité des différents éléments de la construction ;
- Pose et soudures de conduite ;
- Construction des regards et des autres éléments en PEHD

Le laboratoire d'essai de l'organisme de contrôle externe doit être en mesure d'effectuer un volume et un nombre minimum d'inspections dans le cadre de l'aménagement du site. Cela implique la réalisation des essais en laboratoire requis pour les composantes plastiques en conformité avec les exigences de la norme d'accréditation. Ledit organisme doit, en particulier, être en mesure de déterminer en laboratoire les caractéristiques des matériaux dans le cadre des contrôles externes suivants:

Contrôle de la qualité des matériaux/du matériel fournis

- Géomembranes ;
- Produits d'apport de soudage ;
- Géotextiles ;
- Conduites, regards et éléments de construction ;
- Contrôle de la qualité des cordons de soudure ;
- Cordons de soudure de chevauchement et de rapport des géomembranes ; cordons de soudure dans le cadre de la réalisation de raccords entre géomembranes et conduites, par exemple.

L'organisme de contrôle externe doit pouvoir, par conséquent, au moins assurer le nombre et le volume d'essais indiqués ci-dessous.

Propriété	Contrôle	Géomb	GTX	Cond.
Épaisseur	EN ISO 9863-1	X		X
Essai de traction	EN ISO 527	X		
indice de fluidité en volume (<i>MVR</i>)	EN ISO 1133-1			X
Densité	EN ISO 1183-1			X
Stabilité dimensionnelle	ISO 1107-2			X
Masse par unité de surface	EN ISO 9864		X	
Essai de résistance au poinçonnement	EN ISO 12236		X	
Essais de traction	EN ISO 10319	X		
Essai de flexion	Norme de la fédération allemande pour la soudure et les procédés connexes DVS 2203-5	X		
Test de traction- cisaillement	Norme de la fédération allemande pour la soudure et les procédés connexes DVS 2226-2	X		
Essai de pelage	Norme de la fédération allemande pour la soudure et les procédés connexes DVS 2226-3	X		

Tableau 13: Contrôles à effectuer dans le cadre de l'inspection des géo-membranes et produits similaires par l'organisme externe

Géomb. = Géomembrane, GTX = Géotextiles, Cond. = Conduites, puits, éléments de construction

Les appareils requis pour le contrôle des cordons de soudure doit être disponibles sur le chantier.

ORGANISME DE CONTRÔLE EXTERNE POUR LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION MINÉRAUX

L'organisme externe chargé de contrôler les matériaux de construction minéraux doit disposer d'un laboratoire équipé des appareils permettant la réalisation des essais de mécanique de sol et de physique des sols ainsi que des appareils requis pour le prélèvement d'échantillons et pour essais sur le terrain. Les principales analyses en laboratoire à effectuer par cet organisme sont les suivants:

N°	Propriété	Contrôle
1	Détermination de la teneur en eau	NF ISO/TS 17892-1
2	Détermination du taux de compactage des matériaux mis en place	NF ISO/TS 17892-2
3	Détermination de la masse volumique apparente (<i>densité des grains</i>)	NF ISO/TS 17892-3
4	Détermination de la densité Proctor	DIN 18127, NF P94-093
5	Détermination de la distribution granulométrique	NF ISO/TS 17892-4
6	Détermination du comportement à la compression, au gonflement et à la consolidation	NF ISO/TS 17892-5
7	Détermination de la résistance au cisaillement non drainée avec cône de pénétration	NF ISO/TS 17892-6
8	Détermination de la résistance à la compression uniaxiale	NF ISO/TS 17892-7
9	Détermination de la relation contrainte- déformation (<i>échantillons de sol drainé et non drainé</i>)	NF ISO/TS 17892-8
10	Détermination de la relation contrainte- déformation (<i>échantillons de sol drainé et non drainé</i>)	NF ISO/TS 17892-9
11	Détermination des paramètres de cisaillement effectifs des sols	NF ISO/TS 17892-10
12	Détermination du coefficient de perméabilité	NF ISO/TS 17892-11
13	Détermination des limites d'Atterberg	NF ISO/TS 17892-12

Tableau 14: Contrôles et essais à effectuer sur les matériaux minéraux dans le cadre des investigations géotechniques par l'organisme de contrôle externe

MISSIONS DE CONTRÔLES INTERNES ET EXTERNES (CI ET CE)

Les contrôles internes et externes englobent la réalisation des activités suivantes assorties d'une documentation correspondante:

- Essais initiaux sur les matériaux de construction à mettre en œuvre
- Contrôles du traitement et de la mise en œuvre des matériaux de construction
- Vérification et suivi de toutes les activités déterminant la qualité des travaux conformément aux règles définies dans le PAQ.

Une description des contrôles requis figure au tableau suivant.

Tâches requises	CI	CE
Suivi et contrôle du plan d'assurance qualité		X
Preuve de la stabilité des ouvrages. Contrôle des essais en laboratoire effectués, en ce qui concerne leur intégralité et leur utilité et contrôle de la plausibilité des résultats.		X
Planche d'essais	X	X
Essais de convenance Contrôle de la qualité des matériaux/du matériel	CI	CE
Étanchéité minérale (<i>argile</i>)	X	X
Géomembranes		X
Étanchéités combinées: géomembranes et argile		X
Conduites, puits, éléments de construction		X
Contrôle en cours de travaux	CI	CE
Étanchéité minérale (<i>argile</i>)	X	X
Géo-membranes	X	X
Étanchéités combinées: géomembranes et argile		X
Conduites, puits, éléments de construction		X
Après réalisation des travaux	CI	CE
Coopération lors de la validation des zones (partielles) aménagées en concertation avec l'autorité compétente,		X
Surveillance des zones aménagées jusqu'à ce qu'elles soient construites (<i>réalisation des superstructures prévues</i>),		X
Documentation	CI	CE
Rapport définitif illustrant les constatations et les résultats obtenus lors des contrôles	X	
Rapport final assorti des résultats de toutes les mesures d'assurance qualité et d'une évaluation de ces résultats aux fins de la réception des ouvrages		X

Tableau 15: Tâches requises pour le contrôle interne et externe

CONTRÔLES EXTÉRIEURS

Le contrôle extérieur réalisé par le maître d'œuvre ou, préférentiellement, par un prestataire externe compétent pour le compte du maître d'ouvrage est un contrôle par sondage qui permet de valider les dispositions prises par l'entreprise pour assurer son contrôle qualité. Il ne peut donc être réalisé que si les autres phases de contrôle l'ont déjà été.

Le contrôleur extérieur doit être en possession de son propre matériel de contrôle.

Il consiste en une revue documentaire, des contrôles non destructifs et des prélèvements pour la réalisation d'essais en laboratoire.

Le plan de contrôle extérieur sera décrit dans les CCTP (*travaux d'étanchéité et de contrôle extérieur*) en s'appuyant sur les documents techniques correspondant au type d'ouvrage. Il concernera un minimum de 30% des assemblages.

SUIVI DES TRAVAUX

La compétence en matière du suivi des travaux est exercée pour le compte du maître de l'ouvrage, par un ingénieur qui veille à ce que les prestations de travaux convenues contractuellement soient réalisées en bonne et due forme, conformément aux plans d'exécution et aux autres conventions fixées dans le contrat de travaux. L'ingénieur coordonne les activités des autres intervenants dans le projet (*agents de contrôle internes et externes, par exemple*), en émettant les instructions nécessaires destinées aux entreprises chargées des travaux. La fonction et les tâches de l'ingénieur sont fixées de manière détaillée dans le contrat des travaux rédigés conformément aux normes et à la législation en vigueur.

Supervision interne (SI)

Le service respectif de supervision interne des fabricants de produits doit assurer la qualité des produits de manière fiable, c'est-à-dire que les méthodes appliquées doivent être reproductibles et vérifiables.

CONTRÔLES ASSOCIÉS À LA MISE EN ŒUVRE ET RÉCEPTION DE LA STRUCTURE SUPPORT

Les contrôles du compactage et de la portance sont réalisés par le terrassier, son contrôle interne ou le contrôle extérieur sous contrôle de la maîtrise d'ouvrage et font l'objet d'une réception.

Ensuite, lors d'une réception tripartie (*Entreprise de terrassement, Entreprise d'étanchéité et maître d'ouvrage*), les contrôles de la structure support consistent en une vérification visuelle :

- De l'état général de la structure support (*homogénéité, absence d'éléments saillants ou potentiellement poinçonnants, présence de boue...*),
- De la planéité,
- De la géométrie (*respect des pentes, du traitement des angles, ...*),
- Des tranchées d'ancrage
- Du traitement de venues d'eau (*ruissellements, suintements, ...*).

Les contrôles peuvent être réalisés par zones en fonction des nécessités de l'avancement du projet ou des changements de conditions climatiques.

Contrôles du plan de calepinage

Le contrôle du plan de calepinage a pour objectif de détecter d'éventuelles non-conformités telles que points quadruples, soudures horizontales en talus, ...

Contrôles du plan de phasage des travaux

Le contrôle du phasage des travaux a pour but de détecter des incompatibilités de tâches telles que la mise en place des pénétrations après la pose du système d'étanchéité, travaux ultérieurs nécessitant une circulation directe sur la géomembrane...

MÉTHODOLOGIE DE CONTRÔLE

Contrôle visuel

Il doit être réalisé à tout moment et à tous les niveaux de contrôle. Il concerne toutes les parties d'ouvrages et tous les composants du système d'étanchéité et leurs assemblages.

CONTRÔLE À AIR SOUS PRESSION

Ce contrôle concerne les doubles soudures automatiques avec canal de contrôle. Il permet de vérifier la continuité et l'étanchéité du canal de contrôle et donc des joints qui le bordent.

Note : Il ne s'agit pas d'un essai mécanique, une soudure peut être étanche tout en ayant des résistances mécaniques faibles et inférieures aux prescriptions du marché.

CONTRÔLE PAR LIQUIDE COLORÉ SOUS PRESSION

Ce contrôle concerne les doubles soudures automatiques avec canal de contrôle. Il permet de vérifier la continuité et l'étanchéité du canal de contrôle et donc des joints qui le bordent. Il permettra de visualiser les éventuels défauts en surface de la géomembrane.

Il pourra être complété par un contrôle par caméra thermique qui permettra, grâce à l'usage d'un liquide en température et d'une caméra thermique, la visualisation de défauts en sous-face.

CONTRÔLE PAR CLOCHE À VIDE

Ce contrôle concerne les soudures manuelles, l'extrusion et les points singuliers. Il permet de vérifier la continuité d'une soudure manuelle.

Il sera complété par un contrôle à la pointe

Note : Il ne s'agit pas d'un essai mécanique. Ce contrôle n'est pas toujours réalisable (*support irrégulier, assemblage inaccessible...*).

CONTRÔLE À LA POINTE

Ce contrôle concerne les assemblages manuels et extrusions de géomembranes et complète les méthodes citées ci-dessus. Il permet de vérifier la continuité et, dans une certaine mesure, la bonne adhérence des soudures manuelles et des extrusions.

CONTRÔLE DIÉLECTRIQUE

Ce contrôle, qui existe sous différentes formes, concerne l'ensemble de la surface du système d'étanchéité. Il permet de détecter et de repérer les défauts traversant ponctuels ou à l'échelle de l'ouvrage. Il peut être réalisé durant la phase de travaux et à la réception de l'étanchéité y compris, pour certaines méthodes, après mise en place du confinement.

CONTRÔLE PAR LANCE À AIR

Ce contrôle consiste à injecter de l'air sous pression sur le bord des joints. L'équipement d'essai d'étanchéité à la lance à air est composé d'une source d'air comprimé capable de débiter, à travers une buse de 4,8 mm (3/16") de diamètre, un air porté à une pression minimale de sortie de 345 kPa (50 psi). La buse doit être orientée vers le bord supérieur du joint et maintenue à une distance maximale de 51 mm (2 in.) par rapport au joint. Ce système de contrôle est destiné à vérifier la continuité des assemblages (*hors extrusions*).



Image 21: matériel de contrôle par lance à air

CONTRÔLE PAR MISE EN EAU

Ce contrôle peut être réalisé à la fin de la mise en œuvre de la géomembrane. Il consiste au remplissage de l'ouvrage (*pour les bassins d'eau*) dans son intégralité ou partiellement afin de vérifier son étanchéité en charge. On mesurera les variations du niveau de l'eau dans l'ouvrage et des débits éventuels du système de drainage des eaux. L'analyse des résultats devra prendre en compte les variations dues aux conditions atmosphériques (*précipitations, évaporation...*) durant la durée de l'essai (*durée qui dépend de la dimension de l'ouvrage*).

CONTRÔLES DESTRUCTIFS

Les contrôles destructifs sont réalisés afin de vérifier que les échantillons testés respectent les spécifications données au CCTP et dans les référentiels cités dans ce dernier.

Ces essais peuvent concerner les matériaux pour la réalisation des essais d'identification, ou les assemblages.

Dans le cas des essais d'identification sur matériaux, la liste des essais ainsi que leur fréquence et la répartition de ces essais entre les différents contrôles sera fixée aux CCTP (*travaux et contrôle extérieur le cas échéant*) et dans le plan de contrôle.

En ce qui concerne les assemblages, des essais de détermination des caractéristiques mécaniques peuvent être réalisés en fonction de la nature chimique de la géomembrane et du type d'ouvrage à réaliser. Les prélèvements seront réalisés en dehors des zones sensibles et de préférence vers l'extrémité des soudures (pour assurer les performances d'étanchéité de la zone courante). Ces essais sont :

TRACTION PELAGE

Cet essai permet de caractériser la résistance mécanique et le mode de rupture d'un assemblage lors d'une sollicitation des bords du joint à 180°.

TRACTION CISAILEMENT

Cet essai permet de caractériser la résistance mécanique et le mode de rupture d'un assemblage lors d'une sollicitation dans le plan du joint.

Lors des essais de pelage et de cisaillement, les caractéristiques observées sont d'une part la résistance du joint et d'autre part le mode de rupture de l'assemblage.

Le facteur de soudage est le rapport entre la résistance d'un joint obtenu suivant l'un des deux essais précédents et la résistance en traction du matériau de base. Il s'exprime en %. Cette caractéristique n'est appliquée qu'aux assemblages de géo-membranes PEHD élastomères.

Les spécifications (*critères*) sur chacune de ces caractéristiques sont fixées au CCTP.

CONTRÔLES ASSOCIÉS À LA MISE EN ŒUVRE DE LA STRUCTURE DE PROTECTION

Il consiste en la vérification du respect des prescriptions de la mise en œuvre de la structure de protection (*nature, épaisseur, procédure de réalisation,...*) mais aussi de la bonne prise en compte des dispositions.

INSTALLATION DE CHANTIER

L'entreprise doit livrer avant l'accès au site son plan d'installation de chantier. Doivent figurer :

- L'emplacement des bureaux de chantier de l'entrepreneur
- De la base de vie
- Des bureaux mis à disposition au représentant du maître de l'ouvrage
- Des prises d'eau et d'électricité
- Des aménagements temporaires d'assainissement et d'évacuation des déchets

L'entreprise doit fournir un chronogramme de travail actualisé ainsi que les documents lui permettant l'accès au site.

L'installation de chantier doit se faire sous respect des normes de sécurité du travail. L'entreprise doit assurer la gestion du trafic routier autour et à l'entrée du site par les mesures adéquates (*signalisation*). Le chantier doit être clairement identifiable par un panneau d'information et sécurisé par une clôture de chantier. L'entreprise doit élaborer et mettre en place toutes les affiches de sécurité et garantir un accès réglementé au site. Des conteneurs pour stocks d'équipement de chantier doivent être aménagés. Un poste de sécurité à l'entrée du site est nécessaire. L'entrepreneur doit dès le premier jour tenir un cahier de chantier (*relié non à spirale*) dans lequel doivent figurer :

- La date (*jj/mm/aa*)
- Le personnel présent sur site le jour de travail
- Le matériel roulant présent sur site le jour de travail
- Les conditions météorologiques
- Une brève description des travaux effectués
- Les heures d'arrêt et la cause (*intempéries, forces majeures, etc.*)
- Les absences
- Les accidents de travail (*description ou mention «néant»*)
- La signature du responsable de chantier de l'entreprise
- La contre-signature du représentant du maître de l'ouvrage chargé du suivi⁶

CLÔTURE

La clôture fait partie des premiers éléments à être élaborés en APS/APD. Lors des travaux, elle est souvent placée à la fin des travaux. Elle doit être réalisée selon les plans fournis avec un scellage en béton (*non armé*). Une attention particulière pendant la réalisation et le suivi doit être portée à avoir des éléments réguliers et droits. La droiture verticale et horizontale doit être contrôlée au moyen d'une nivelle à bulle.

BÂTIMENTS

Les travaux de génie civil devront être réalisés conformément aux normes algériennes (*ou à défaut internationales*) en vigueur. Ce guide technique ne sera pas consacré à décrire toutes les mesures à prendre par les intervenants pour garantir une bonne exécution selon les règles de l'art. Des mesures périodiques de nivellement sont à établir aussi bien dans le cadre des contrôles internes que par le suivi de chantier. Des contrôles visuelles et au moyen d'une nivelle à bulle sont à effectuer pour les murs, portes et fenêtres. Les travaux de béton sont à effectuer et à contrôler selon les normes en vigueur (*échantillon de béton, essai au laboratoire. Etc.*)

PLANCHE D'ESSAIS

Dans certains cas particuliers, il pourra être procédé à la réalisation de planches d'essais et/ou de zones de convenance.

Une planche d'essais est une zone qui peut être située hors chantier et sur laquelle plusieurs dispositifs peuvent être testés afin de pouvoir choisir celui qui sera le plus adapté à une situation particulière du chantier. Une fois le dispositif choisi, les dispositifs non retenus seront éliminés.

Une zone de convenance est une zone habituellement située sur le chantier, ou avec des caractéristiques les plus proches possibles d'une zone de chantier, sur laquelle le procédé choisi pour le reste du chantier est mis en œuvre avec les moyens humains et matériels prévus dans le PAQ. Elle sert à s'assurer de la maîtrise des procédures et matériels par les intervenants. On pourra qualifier la réalisation par des contrôles destructifs ou non. Selon les résultats, la zone de convenance pourra être laissée en place ou éliminée.

Avant le démarrage de la pose du système d'étanchéité, des épreuves de convenance peuvent être réalisées afin de vérifier que les moyens humains et matériels affectés à une tâche permettent d'obtenir les résultats demandés.

Dans ces épreuves, on peut inclure les essais d'identification des éléments du système d'étanchéité afin de vérifier que les matériaux livrés ont bien les caractéristiques prescrites au CCTP et dans les fiches techniques ou certificats.

Avant le démarrage des travaux d'étanchéité, la méthode opératoire prévue (*sections de pose, déroulement des opérations de réception, formulaires à utiliser etc.*) doit être convenue conjointement avec l'ingénieur chargé du suivi des travaux in situ et l'organe de contrôle externe sur la base d'essais effectués sur le terrain.

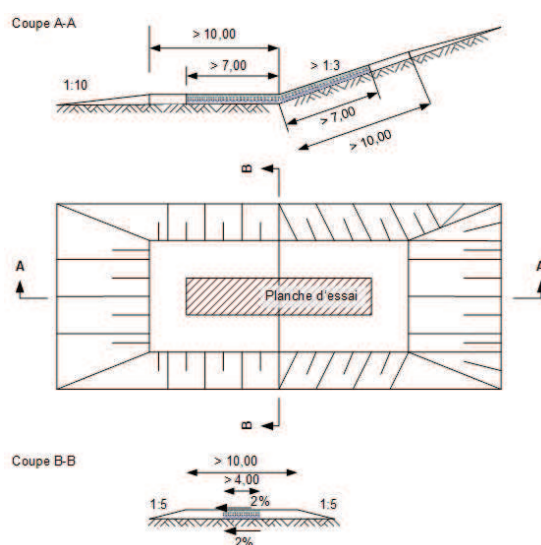


Figure 72: Planche d'essai/zone de convenance

⁶ La contre signature ne doit pas obligatoirement être établie le même jour. Il est recommandé d'organiser un « jour fixe » hebdomadaire pour la coordination entre entreprise et suivi des travaux

L'organe de contrôle externe encadre l'aménagement du champ d'essais ainsi que la réalisation des essais sur ce champ par les agents de contrôle interne. Ensuite, il prélève des échantillons et effectue des tests de contrôle indépendants en laboratoire. Ceci effectué, le contrôleur externe présente ainsi que des recommandations qu'ils transmet à l'entrepreneur chargé des travaux. Puis, il rédige un rapport de synthèse en émettant un avis quant à la validation des travaux effectués.

DOCUMENTATION DES RÉSULTATS DES ESSAIS ET ANALYSES

Les analyses à réaliser dans le cadre des essais initiaux et de contrôle entraînent la production d'un volume important de données (*essais, mesures*) et de documents les illustrant. Il est donc nécessaire de consigner les différents résultats obtenus sur des formulaires permettant une documentation complète et sans lacune de ces analyses.

Ce dossier de documentation doit être structuré de la manière suivante :

- Formulaires de contrôle initial
- Formulaire de contrôle de la mise en place des matériaux
- Formulaire de réception provisoire de chaque couche et de validation pour la poursuite des travaux de remblaiement

Les résultats de tous les essais effectués en laboratoire par les agents de supervision interne (*SI*) pour déterminer la qualité des travaux doivent, au fur et à mesure de leur obtention ou quotidiennement, être soumis à l'organe de contrôle externe (*CE*) et à l'ingénieur chargé du suivi des travaux. Le service CI de l'entrepreneur reçoit ensuite une copie des analyses effectuées par l'organe de contrôle externe. Lors de ses contrôles, l'organe de contrôle externe vérifie les résultats obtenus par l'entrepreneur en les comparant avec ceux qu'il a lui-même obtenus lors de ses propres essais, puis il consigne ses résultats sous une forme claire pour les besoins de l'ingénieur chargé de la surveillance des travaux.

Tous les résultats obtenus doivent être continuellement comparés aux exigences requises. En cas d'écarts importants en ce qui concerne les propriétés des matériaux ou la qualité des travaux réalisés sur le chantier par rapport aux valeurs de référence ou en comparaison avec les résultats des essais effectués au préalable en laboratoire, l'entrepreneur devra tout d'abord effectuer des analyses complémentaires sur la base des instructions émises par l'ingénieur chargé du suivi ou par l'organe de contrôle externe. Si ces analyses confirment les écarts constatés, l'entrepreneur doit procéder à des mesures de modification (*matériaux, appareils techniques, méthodes de réalisation*) afin d'assurer le respect des valeurs de référence. Les éléments de construction qui ne satisfont pas aux exigences de qualité requise, doivent être modifiés ou démontés puis remplacés conformément aux instructions de l'ingénieur chargé du suivi des travaux.

À l'issue de toutes ces opérations, le service de contrôle interne de l'entrepreneur doit rédiger un rapport final contenant tous les résultats de ses propres analyses ; et le service de contrôle externe doit rédiger un rapport de synthèse de tous les résultats obtenus par les mesures prises pour assurer la qualité des travaux.

Le rapport de l'organisme de contrôle externe doit contenir les résultats des mesures de contrôle internes et externes et les évaluations correspondant à ces mesures quant à leur conformité avec les exigences indiquées dans le plan d'assurance qualité. Toutes ces indications doivent être claires et parfaitement compréhensibles. Enfin le rapport précité doit également répondre clairement à la question de savoir si la qualité exigée a été parfaitement atteinte, et ce sans aucune réserve.

TERRASSEMENT/MISE EN PLACE DE L'ÉTANCHÉITÉ PASSIVE

Les niveaux de compactage et de portance indiqués ci-dessous sont des éléments d'orientation ; ils doivent être précisés dans l'étude géotechnique préalable.

- Niveau de compactage selon les règles de l'art :
 - o Un compactage superficiel est à prévoir en fin de terrassement. La masse volumique apparente doit être supérieure ou égale à celle qui correspond à 95% de l'Optimum Proctor Normal ($pd \geq 0,95 \text{ } pd_{OPN}$) et l'objectif de densification est de q_4 sur les 30 premiers centimètres,
 - o Un soin particulier sera apporté au compactage des talus. Les caractéristiques de compacité peuvent être mesurées au moyen d'un dispositif de type pénétrodensitographe ou d'un gamma densimètre (*si la pente est inférieure à $2H/1V$*),
- Niveau de portance suffisant pour éviter la création d'ornières à la mise en œuvre du système d'étanchéité et en service. Les conditions à remplir sont les suivantes :

- o Niveau de portance : module de 30 MPa,
- o Contrôles : essais à la plaque dynamique ($Edyn \geq 30 \text{ MPa}$),
- Zones sensibles :

o Certaines zones sont très sensibles pour le comportement du système d'étanchéité car la préparation du support est difficile ; ceci est le cas, par exemple, lors de la remise en place des terrains autour des ouvrages en béton (*débouchés de canalisation dans les talus, ouvrage de sortie des eaux*). Des engins de compactage adaptés seront utilisés.

Dans le cas où ce niveau de portance ne peut être atteint, il est de la responsabilité du maître d'ouvrage de justifier de la stabilité du fond de forme sous les contraintes effectives imposées par l'ouvrage.

ENLÈVEMENT DE LA VÉGÉTATION

Le fond de forme doit être dégagé de toute végétation et terre végétale et purgé d'éventuels dépôts superficiels de matière organique.

On évite ainsi le contact direct des souches, racines avec le dispositif d'étanchéité et le pourrissement des matières organiques qui entraînerait des tassements différentiels et le dégagement de gaz.

Dans le cas où les dépôts de matières organiques (*tourbe par exemple*) sont trop épais pour pouvoir être purgés, on adopte les dispositions suivantes:

- Estimer les tassements totaux et différentiels afin d'adapter les dispositifs constructifs en conséquence et/ou procéder à une pré-consolidation des sols sous-jacents,
- Prévoir un pontage du fond de forme et de la structure support suffisant (3 à 6 % suivant les tassements prévisibles),

Dans le cas de traitements herbicides de surface, on vérifiera à la mise en œuvre que le pH du sol après traitement reste compatible avec les géosynthétiques.

Il est recommandé de procéder tout d'abord à un compactage au pied de mouton. Ensuite, les matériaux peuvent être compactés avec un rouleau à jante lisse.

Les figures suivantes illustrent les opérations nécessaires pour la réalisation d'une triple couche d'étanchéité minérale (*matériaux empruntés sur le site du projet*)

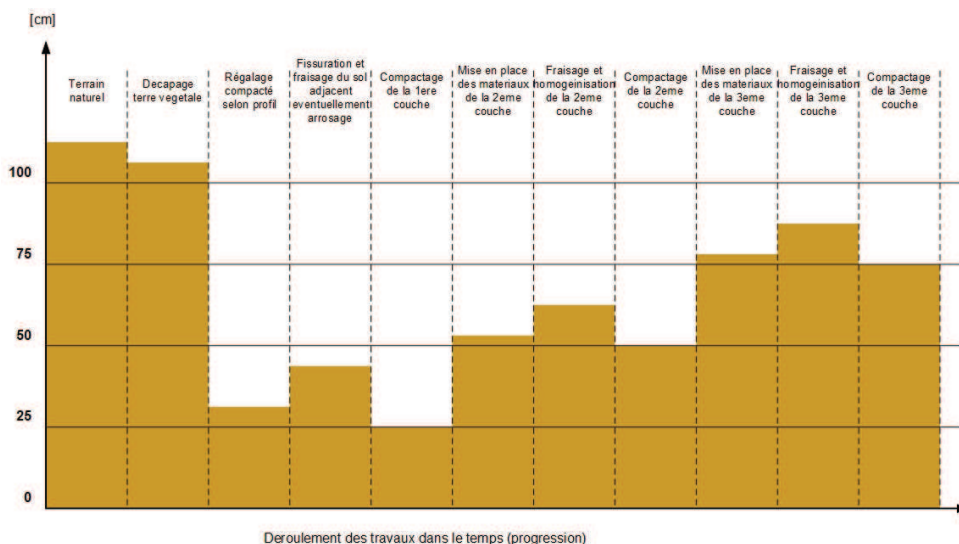


Figure 73: Déroulement des travaux pour la réalisation d'une triple couche d'étanchéité minérale, lorsque les matériaux peuvent être empruntés sur le site même du projet (Cas A)

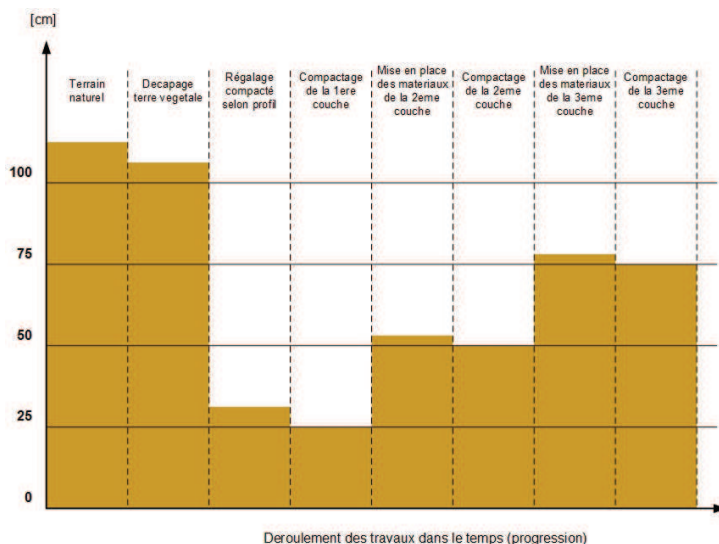


Figure 74: Déroulement des travaux pour la réalisation d'une triple couche d'étanchéité minérale, lorsque les matériaux ne peuvent pas être empruntés sur le site même du projet (Cas B)

L'entreprise de réalisation doit avoir les expériences nécessaires en matière de travaux publics. Elle doit fournir la liste des équipements utilisés pour assurer un bon compactage et par conséquent une bonne stabilité du casier en particulier des talus. Ci-dessous est présentée une séquence de travail pour la réalisation d'une étanchéité minérale à la base et sur les talus.

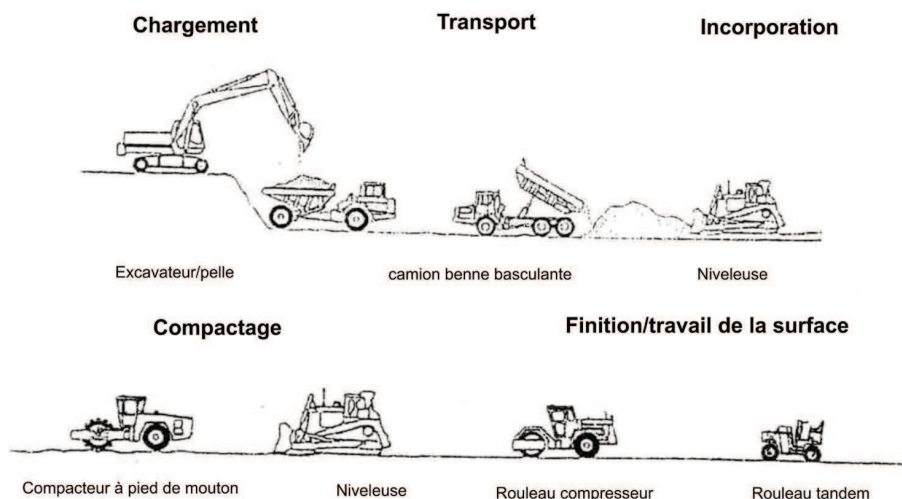


Figure 75 : séquence d'équipement pour le travail d'une étanchéité minérale de base

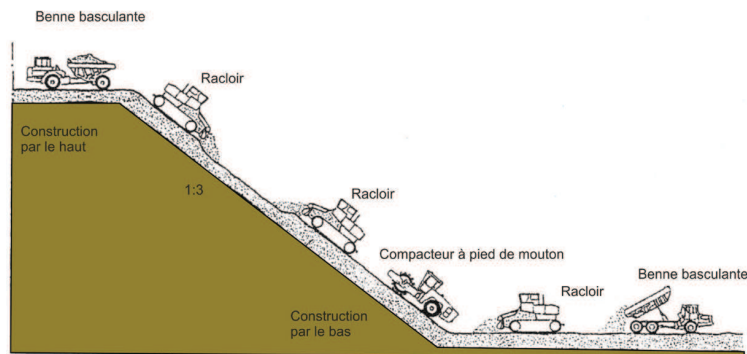


Figure 76 : Chaîne d'équipement pour la mise en place de l'étanchéité minérale de base et sur les talus

AMÉNAGEMENT EN CRÊTE DE TALUS

La crête de talus doit être de largeur supérieure ou égale à 6m, afin de recevoir la tranchée d'ancrage et permettre la circulation de chantier.

PENTE DU FOND DE FORME

Le terrassier s'assurera d'éviter les contre-pentes. Ces dernières sont proscrites, afin de permettre une vidange et un nettoyage efficace.

COUCHE DE FORME

Sa mise en œuvre doit obéir aux mêmes prescriptions que celles du fond de forme, le terrassier en est responsable. Sa mise en œuvre doit obéir aux mêmes prescriptions que celles du fond de forme.

PRÉPARATION DE LA COUCHE SUPPORT

La couche support peut être composée de :

- Matériaux granulaires (*géomatériaux*) dont la mise en œuvre est de la responsabilité du terrassier. Cette couche associée au système de drainage des eaux fait l'objet d'une réception des travaux de terrassements,
- Géotextiles et/ou de leurs produits apparentés dont la mise en œuvre est de la responsabilité de l'entreprise d'étanchéité. Ce cas est observé lorsque la réception des travaux de terrassement du fond de forme et de la couche de forme est prononcée. Les géosynthétiques utilisés devront être assemblés et lestés en attendant la mise en place de la géomembrane qui devra survenir dans les délais les plus brefs.

Si la couche support est réalisée avec un matériau d'apport (*sable, gravier, grave, matériau lié, ...*), il est nécessaire de :

- Contrôler l'état de surface et retirer tout élément agressif,
- Vérifier sa granulométrie lors de sa mise en œuvre,
- Veiller à ne pas créer de ségrégation à la mise en œuvre,
- Compacter selon les recommandations définies ci-dessus.

Les matériaux pulvérulents, sensibles au ravinement, à la circulation de chantier et au battillage, peuvent être stabilisés : traitement par différents liants, matériaux d'apport moins sensibles,...

Les caractéristiques chimiques (*pH*) des matériaux après stabilisation aux liants doivent être compatibles avec les géosynthétiques constitutifs du système d'étanchéité.

Une fois le support préparé, les engins de chantier ne doivent plus circuler dessus. Dans le cas où ils y sont contraints, ces derniers ne doivent pas entraîner de déformation ou de modification de la texture superficielle (*ornière, dégagement de caillou isolé, ...*).

Dans le cas où la couche support est constituée par un géotextile de protection, il conviendra de veiller :

- À ne pas arracher des matériaux de la couche de forme,
- À éviter tout pli des nappes de géotextiles,
- Au recouvrement ou à la liaison des nappes de géotextiles,
- Au lestage des nappes de géotextiles,
- Au raccordement des ouvrages.

La réception du support doit être réalisée après réalisation des contrôles prévus au paragraphe des contrôles et de la réception.

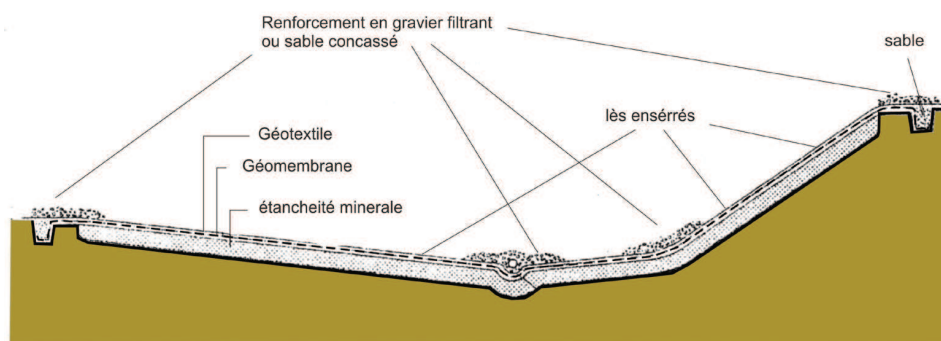


Figure 77 : Travaux de renforcement des ancrages



Image 22: Préparation de l'ancrage [1]

MISE EN PLACE DE L'ÉTANCHÉITÉ ACTIVE (PLAN DE POSE)

La membrane est déroulée à l'aide d'un palonnier, qui est suspendu à la flèche d'une grue. Les bandes de géomembranes sont posées de façon à se chevaucher, ce qui permet de les souder ensemble. Deux méthodes de soudage sont utilisées. Le soudage automatique se fait au moyen d'un fer, d'une lame chauffante, par chevauchement. Le soudage manuel se fait avec un appareil de soudage par extrusion. Le soudage automatique sert pour les longues soudures unissant entre elles les bandes de géomembranes. Le soudage par extrusion sert pour les soudures qui ne peuvent être exécutées mécaniquement : détails, réparations, traversées. Toutes les méthodes de soudage exigent une grande expertise, tant au niveau de la réalisation que lors du contrôle, de façon à garantir la qualité des soudures. Avant le début d'un projet, des soudures d'essai sont faites pour vérifier tant la compétence des techniciens que le fonctionnement et le réglage des machines. Les contrôles sont quotidiens et ont lieu dans un laboratoire mobile. Le contrôle final des soudures vérifie l'étanchéité. Pour les soudures chevauchantes, le test a lieu à l'air comprimé. Pour les soudures à extrusion, le test a lieu par le vide ou par étincelles. L'inspection peut être confiée à un bureau d'expertise indépendant agréé.

EXÉCUTION DE L'ÉTANCHÉITÉ

L'exécution de l'étanchéité doit être réalisée par des entreprises spécialisées et assurées pour ce type d'ouvrage.

TRANSPORT ET STOCKAGE

Lors des opérations de transport, de chargement et de déchargement, il convient de prendre toutes les dispositions destinées à limiter l'endommagement éventuel de chaque rouleau.

Toutes précautions doivent être prises pour ne pas endommager les géosynthétiques constitutifs du système d'étanchéité lors du stockage sur chantier, à savoir :

- Disposer d'une aire plane, propre, sèche, de portance suffisante et maintenue hors d'eau pour permettre la circulation des engins, débarrassée de tous matériaux et outils,
- Ne pas superposer les rouleaux de géosynthétiques en porte-à-faux ou en couches croisées,
- Pour des raisons liées à la sécurité, il est interdit de superposer les rouleaux de géo-synthétiques sur plus de trois niveaux,
- Protéger les géo-synthétiques et plus particulièrement les géotextiles et produits apparentés contre l'ensoleillement et les intempéries lors d'un stockage prolongé (15 jours).

CONDITIONNEMENT ET ÉTIQUETAGE

Les géo-synthétiques sont conditionnés sous forme de rouleaux ou de nappes préfabriqués. Un emballage ou une ou deux spires peuvent servir de protection. Une inspection visuelle de l'état de surface s'impose dans tous les cas avant utilisation du matériau. D'éventuels emballages ou spires sont à évacuer conformément à la législation en vigueur.

L'étiquetage sur chaque rouleau doit comprendre obligatoirement les informations suivantes :

- Les informations relatives au marquage dans le cadre de la réglementation en vigueur (souvent CE selon la Réglementation européenne à défaut d'une réglementation nationale, numéro de certificat de contrôle de la production en usine, les normes d'applications),

- L'appellation commerciale du produit,
- Les informations relatives à la traçabilité (*numéro de rouleau, lot de fabrication, date et heure de fabrication, etc.*),
- Les caractéristiques dimensionnelles (*largeur, longueur, épaisseur, poids...*),
- Les certificats éventuels.

Les géo-synthétiques doivent voir leur référence commerciale marquée dans la masse tous les 5 mètres linéaires au minimum.

L'entreprise de réalisation devra fournir un plan de calepinage ou plan de pose de la géo-membrane. C'est un plan très important non seulement pendant la réalisation mais aussi pour la gestion car il permet de localiser exactement les ancrages et la géomembrane pour un éventuel raccord d'extension (*extension de casier*).

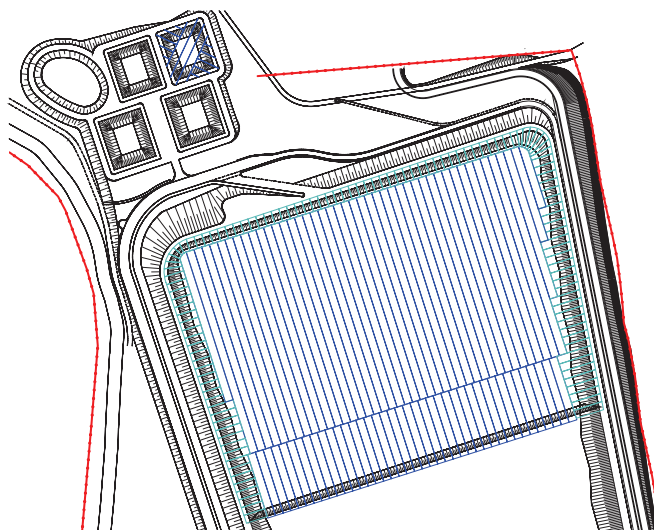


Figure 78: Exemple d'un plan de calepinage (plan de pose de la géo-membrane)

MISE EN PLACE DES LÉS

Selon leur poids, les géomembranes sont manutentionnées à l'aide d'engins mécanisés équipés éventuellement d'un système de levage/déroulage (*portique, dérouleur,...*).

Les sangles de levage doivent être utilisées en position « U » et non en « étranglement ». La mauvaise répartition des sangles sur la largeur des rouleaux de géosynthétiques et/ou le ballant provoqué par une piste de roulage inadaptée peut provoquer la rupture des sangles.

Les sangles livrées avec les géosynthétiques sont généralement à usage unique.

Ces opérations de manutention doivent être limitées à leur strict minimum pour éviter, en particulier, la détérioration de l'état de surface de la structure support.

Elles doivent permettre d'optimiser le positionnement des rouleaux ou ballots en vue de l'opération de déroulage ou de dépliage.



Image 23: Mise en place de la géo-membrane

DÉROULAGE /DÉPLIAGE

Le déroulage ou le dépliage doivent permettre la bonne exécution des opérations ultérieures d'assemblage et d'ancrage.

On doit veiller en particulier aux points suivants :

- Respecter les largeurs minimales de recouvrement et d'ancrage
- Sur talus, le déroulage et/ou le dépliage des géomembranes se fera de manière à ne pas dégrader le support ou les géosynthétiques sous-jacents,
- Sur talus, positionner la ligne d'assemblage suivant la ligne de plus grande pente et proscrire les assemblages horizontaux in situ (*ces derniers ne sont tolérés qu'en préfabrication*). Un plan de calepinage est établi par l'entreprise d'application et validé par le maître d'œuvre dans le cadre d'un PAQ,
- Pratiquer des assemblages «en tuile» si la géo-membrane doit subir l'action d'un courant,
- Dérouler ou déplier la géo-membrane dans le sens du vent pour éviter son soulèvement,
- Interdire à tout véhicule de circuler directement sur les éléments du système d'étanchéité.

Un lestage temporaire ou un ancrage intermédiaire permettent d'éviter l'envol éventuel de la surface posée.

Le déroulage ou le dépliage doivent être suivis de l'assemblage qui nécessite toujours des surfaces propres et sèches.

VENT

L'application par vents violents (*vitesse maximale admissible : 35 km/h*) est à proscrire pour des raisons liées à la sécurité du personnel et pour des conditions de réalisation de l'ouvrage (*les vents forts génèrent des plis et rendent difficile l'application des éléments constitutifs du système d'étanchéité*).

Lors de la réalisation de l'ouvrage ou en période d'arrêt, il est recommandé, afin de limiter les risques liés aux vents, d'opter pour une ou plusieurs des mesures suivantes, en fonction de l'état d'avancement des travaux :

- Réalisation d'ancrages,
- Lestage partiel (*sacs de sable, cordons de matériaux non-agressifs, eau,...*) en tenant compte éventuellement du poids de la géomembrane,
- Protection générale (*lestage total*).



Image 24: lestage de la géo-membrane et préparation du chevauchement

La mise en place de ces dispositions est de la responsabilité de l'entreprise d'application.

RÉALISATION DES ASSEMBLAGES ENTRE LÉS DE GÉO-MEMBRANES

La qualité d'une géo-membrane est en partie fonction de la qualité des assemblages qui pourront être réalisés entre ses différents lés. Les géo-membranes doivent pouvoir être assemblées de telle sorte que le joint soit étanche, résistant, fiable et durable. Toutefois, il est important de noter que les caractéristiques mécaniques des joints sont étroitement liées aux caractéristiques mécaniques de la géo-membrane elle-même. Il n'y a donc pas lieu de déterminer le choix d'une géo-membrane en comparant les valeurs mécaniques des joints entre les différents types de géo-membrane.

ÉQUIPEMENT D'ASSEMBLAGE

Les moyens nécessaires pour les assemblages sont présentés dans le tableau suivant :

	Machine auto à double soudure	1 / soudeur + 1 en réserve par chantier
Appareils de soudage	Soudeuse manuelle air chaud	-
	Extrudeuse manuelle	1 par chantier + 1 en réserve par chantier
	Chalumeau à gaz avec accessoires	



Image 25: Appareil de soudage de la géo-membrane automatique à double soudure



Image 26: Appareil de soudage à extrusion

RECOUVREMENT

Les largeurs des recouvrements dépendent des matériaux et du matériel de soudage (*pour soudure automatique*) utilisés. Les largeurs de recouvrement et les largeurs des assemblages sont précisées dans le tableau 4 en fonction des matériaux et du mode d'assemblage.

Il est nécessaire de laisser des bords libres pour la réalisation des éventuels essais destructifs.

Mode d'assemblage		PEHD
Double soudure automatique	Recouvrement	≥ 15 cm
	Largeur de soudure	2 fois 12 mm min (+ canal central)
Extrusion	Recouvrement	≥ 3 cm
	Largeur de soudure	Largeur du cordon d'apport

Pour les géomembranes assemblées par double soudure, on s'assurera de l'intégrité du canal central de contrôle.

Lors de la réalisation des assemblages, au maximum trois lés différents seront superposés en un point donné (*point triple*). Les points quadruples sont interdits.

Les points triples seront traités afin de fermer toute capillarité éventuelle (*mise en place de rustine, extrusion complémentaire, soudure manuelle...*).

Les coins des rustines seront arrondis avant installation.

RÈGLES COMMUNES

L'opération d'assemblage proprement dite nécessite un recouvrement préalable entre lés. La largeur minimale de recouvrement est fonction de la nature de la géomembrane et de la technique d'assemblage utilisée, elle est supérieure à la largeur effective d'assemblage.

Les assemblages constituent des points délicats. Ils doivent être effectués avec le maximum de soin. Il est interdit de les réaliser :

- Sous la pluie ou sous l'eau,
- Sous la neige,
- Dans la boue,
- Par vent violent,
- Par températures extrêmes.

Il faut de plus ne pas endommager les géosynthétiques sous-jacents. Les assemblages multiples nécessitent a fortiori une attention particulière. On n'accepte que la superposition de trois éléments au maximum en un point donné (cf. *figure 9*). On peut conforter un assemblage par une pièce de renfort/sécurité confortant la soudure au niveau des points triples.

GÉOMEMBRANES PEHD

Les recouvrements entre deux lés de géomembrane PEHD ont au minimum 15 cm de largeur et les joints sont effectués par soudure thermique (*coin chauffant ou air chaud*) avec canal central de contrôle. Les appareils de soudage automatique réalisent des soudures et marouflage simultanément. L'extrusion est réalisée après préparation de surface par apport de matière de même qualité que la géomembrane. Ce mode d'assemblage est réservé aux points singuliers.

ANCRAGES

Maintien en tête

Cet ancrage a un double rôle :

- Empêcher le glissement de la géomembrane sur le talus,
- Participer à la résistance de la géomembrane non lestée aux efforts de soulèvement entraînés par la dépression due au vent ou d'un courant.

L'expérience montre que la géomembrane doit être maintenue en tête de talus avant la mise en œuvre du matériau d'ancrage. Dans la majorité des cas, on réalise immédiatement un lestage partiel dans la tranchée d'ancrage, des fixations ponctuelles en fond de tranchée (*épingles en fer à béton*) peuvent aussi être utilisées.

Le maintien en tête peut être réalisé :

- Par tranchée d'ancrage,
- Par lestage,
- Par fixation mécanique sur support rigide.

Dans tous les cas, la tranchée d'ancrage est dimensionnée par le concepteur. Elle aura comme dimension minimale conseillée 0,50 m de profondeur par 0,50 m de largeur.

Elle est située, par rapport à la crête de talus à :

- Un minimum 0,50 m pour les projets ayant une géomembrane exposée,
- Un minimum de 1 m pour les projets ayant une géomembrane protégée.

En pratique, l'ancrage en tête se réalise par enfouissement dans une tranchée selon le schéma de principe suivant.

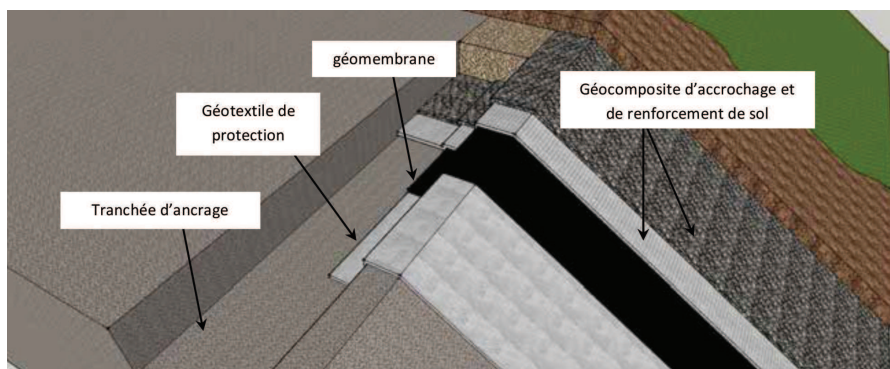


Figure 79: schéma de principe [10]

En fond de la tranchée d'ancrage, la géomembrane sera laissée horizontale (*sans remonter sur la paroi extérieure*).

La crête de talus sera mise en œuvre avec une pente de manière à évacuer les eaux vers un dispositif de collecte les écartant de l'ouvrage (*cunette périphérique par exemple*).

Le calcul des sections pesantes (Sp) et des dimensions d'ancrage doit tenir compte des conditions de frottement relatif (*sol/géotextile, sol/géomembrane, géotextile/géomembrane*) et des matériaux pesants concernés (*nature, granulométrie, poids volumique...*).

Dans le cas de fixation en tête (*au-dessus du niveau d'eau*) sur support rigide (*longrine béton, bassin béton,...*), les trois solutions suivantes sont proposées :

- Fixation par serrage mécanique d'un profilé. Les dimensions du profilé de fixation devront être définies afin d'avoir une pression constante sur la géomembrane,
- Soudage sur une tôle colaminée préalablement fixée mécaniquement sur le support,
- Soudage sur un profilé synthétique, de même nature que la géomembrane, préalablement ancré dans le béton.

Dans le cas de digue en matériau peu stable, le maintien en tête pourra être déporté sur le pied extérieur de la digue.

RACCORDEMENTS AUX OUVRAGES ANNEXES

Ces ouvrages (*arrivées ou évacuations des eaux, regards, ...*) sont le plus souvent en béton, parfois en maçonnerie, en métal, ou plastique...

Les ouvrages béton seront aménagés de manière à permettre un raccordement aisé et fiable avec la géomembrane et doivent être dimensionnés de manière adéquate. On attachera une attention particulière à leur géométrie et à la formulation du béton, la planéité, la texture, la résistance mécanique et chimique...

La forme de l'ouvrage doit suivre le plus possible le profil du support afin de permettre le raccordement à plat de la géomembrane sans nécessiter de façonnage en trois dimensions. Le béton coulé en place permet de respecter cette contrainte, alors que les éléments industrialisés présentent le plus souvent une géométrie complexe non compatible avec une fixation directe de la géomembrane.

Dans les zones de remblai, et en particulier autour des points singuliers, le compactage devra être soigné afin d'éviter les tassements différentiels qui pourraient mettre en tension la géomembrane.

Sans justification contraire du concepteur, une pièce de transition sera mise en place systématiquement (*talonnnette en angle, équerre de renfort,...*).

Pour les parties verticales, on prévoira des fixations intermédiaires avec un espacement maximal de 3 m.

Dans certaines situations, la géomembrane peut être encollée en plein au support.

LES COUCHES DE PROTECTION

Lors de la mise en place de l'éventuelle structure de protection (*au-dessus de l'étanchéité par géomembrane*), on s'attachera à vérifier que les dispositions prises pour sa mise en œuvre n'entraînent pas de dégradation de l'étanchéité. Bien souvent, cette phase n'est pas réalisée par l'entreprise d'étanchéité mais par le mandataire ou un de ses sous-traitants qui n'ont pas nécessairement conscience de la fragilité de l'étanchéité. A ce titre, il faut rappeler que toute dégradation de l'étanchéité réalisée à ce moment doit être signalée afin que l'étanchéité puisse, dans la mesure du possible, procéder aux réparations. Il est judicieux qu'une équipe de l'entreprise d'étanchéité soit présente lors de cette phase pour pouvoir réparer le plus rapidement possible des dégradations.

Afin d'assurer la stabilité de la structure de protection (*terre végétale, sable, grave, enrochements...*), elle est réalisée du bas vers le haut du talus.

Les dégradations sont souvent causées par les manipulations d'engins ou d'éléments (*dalles préfabriquées, éléments de coffrage, ...*) ou par des négligences (*éléments de coffrage agressifs portant directement sur la géomembrane*). En conséquence, lors de la mise en œuvre des matériaux de recouvrement, la circulation éventuelle des engins ne peut se faire que sur des couches de protection adaptée et d'épaisseur suffisante (*épaisseur éventuellement validée par une planche d'essais*). Des pistes de circulation seront dimensionnées pour éviter la compression de la couche de protection sur le complexe géosynthétique et le ripage, le déplacement et le compactage éventuels des granulats.

De même, il faut aussi vérifier que la présence du dispositif d'étanchéité n'interfère pas avec une bonne réalisation de la couche de protection (*plis trop hauts / épaisseur de la couche de protection*).

LES COUCHES DE DRAINAGE

Le remblayage des conduites de drainage est particulièrement important. Un remblayage soigné avec des matériaux de qualité est une garantie de fiabilité et d'économie à long terme. Le lit de pose des conduites doit être exempt de cailloux pouvant blesser le tube ou créer des points durs. Il peut être composé de sable compacté ou de gravier rond (*roulé*) $\varnothing$ 10 - 16 [mm]. L'épaisseur du lit de pose atteindra 10 [cm] au minimum. Une couche de sécurité composée des mêmes matériaux que la couche drainante, d'une épaisseur de 30 [cm] sur la conduite, constitue un enrobage de qualité pouvant permettre ensuite la mise en place des déchets.



Image 27: Couche de drainage réalisée (avec renforcement au niveau des conduites)

LA COLLECTE ET LE TRAITEMENT DES LIXIVIATS

Travaux de génie civil (*regard en béton*), partie sensible (*passage des conduites, raccord des conduites*)

La collecte et le traitement des biogaz

Les infrastructures de collecte et de traitement des biogaz viennent normalement après un certain temps d'exploitation (*2 ans*) car :

- Lors des premières années, il n'y a pas encore une production de biogaz conséquente (*voir chapitre biogaz*)
- La réalisation de la base des puits de dégazage en base de casier avant l'exploitation entraîne un plus grand risque d'endommagement (*circulation d'engins en fond de casier, dépôts et enfouissement et compactage des déchets*)

TRAVAUX ANNEXES (INFRASTRUCTURES, BÂTIMENTS, VOIRIES)

Les travaux de génie civil et de voiries devront être réalisés conformément aux normes algériennes (*ou à défaut internationales*) en vigueur. Ce guide technique ne sera pas consacré à décrire toutes les mesures à prendre par les intervenants pour garantir une bonne exécution selon les règles de l'art. Il est important pour le suivi de vérifier la planéité de la voirie à l'aide d'une latte de mesure. Les pentes longitudinales et verticales tels qu'indiqué dans les plans d'APD doivent être respectées. Des échantillons doivent être pris pour le contrôle de l'épaisseur de l'asphalte et pour les contrôles du taux de compacité de la couche de forme.

Image 28: voie circulaire d'un casier de CET en asphalte



VALIDATION DES TRAVAUX

DOMAINE DES CONTRÔLES

Les contrôles s'appliquent particulièrement aux composants du système d'étanchéité et aux dispositions prises pour leur mise en œuvre.

Dans ce chapitre, la distinction n'est pas faite entre ce qui relève des contrôles interne, externe ou extérieur mais sont énumérées un certain nombre de tâches à réaliser (*domaines d'application des contrôles*). La liste des contrôles à réaliser ainsi que leur répartition doit être précisée dans le cahier des charges (CCTP).

Les contrôles sont de plusieurs types et peuvent être réalisés à divers moments.

- Les contrôles documentaires débutent avant la réalisation du chantier par le contrôle des documents tels que le PAQ, les demandes d'agrément de matériaux, les plans de l'ouvrage et les méthodologies de pose. Ce type de contrôle sera poursuivi tout au long du chantier en consultant le journal de chantier, les fiches de contrôles,
- Le contrôle de la mise en œuvre du système d'étanchéité lui-même sera effectué sur chantier et comprendra des contrôles non destructifs et la réalisation de prélèvements pour les essais destructifs réalisés en laboratoire.

CONTRÔLES DE L'ORGANISATION DU CHANTIER

L'organisation du chantier est traitée dans le PAQ de l'entreprise mandataire ainsi que dans celui de l'entreprise d'étanchéité si elle est sous-traitante. Il faut vérifier que les personnels et matériels prévus dans ces documents sont bien présents. On vérifiera par exemple la présence de soudeurs et de chefs de chantier certifiés où ces certifications sont requises.

CONTRÔLES DES ZONES DE STOCKAGE ET DE MANUTENTION DES PRODUITS

Les zones de stockage et de manutention doivent avoir des dimensions et une portance suffisantes pour que les matériaux soient stockés suivant les prescriptions du fournisseur.

Les matériaux seront entreposés conformément à ce qui est décrit précédemment. Tous les éléments de protection mis en place par le fournisseur sur les différents conditionnements seront conservés le plus longtemps possible. Ils ne seront enlevés qu'au dernier moment.

Ceci permet de maintenir les matériaux dans de bonnes conditions et de visualiser d'éventuelles détériorations mécaniques.



Image 29: stockage conforme de la géomembrane

Le stockage des composants du système d'étanchéité devra être réalisé conformément aux prescriptions des fabricants (*hauteur maximale, nombre de rouleaux empilés, structure porteuse éventuelle...*).

En fonction des conditions météorologiques du chantier (ensoleillement très important, température élevée ou alors très basse), il sera peut être nécessaire de mettre en place une protection complémentaire ou d'abriter certains matériaux. Dans ce cas, l'abri sera de type et de dimension adaptée (*Contre-exemple : stockage en container pour protéger de la chaleur*).

Contrôles de réception des matériaux et matériels sur le chantier

- Le contrôle des matériaux livrés consiste d'abord en un contrôle documentaire :
- Vérification de l'étiquetage des rouleaux et panneaux :
- Dénomination commerciale ;
- Caractéristiques (*nature chimique, épaisseur, masse surfacique, ...*) ;
- Marquage (CE) suivant la norme prescrite pour l'ouvrage ou l'utilisation qui doit être faite du matériau ;
- Numéro d'identification du rouleau ;
- Certifications éventuelles
- Vérification des documents d'accompagnement (*contrôles d'usine*).

Cette vérification sera faite à la livraison et peut être réalisée a posteriori par toute personne habilitée sur le chantier (*encadrement de l'entreprise, maître d'œuvre,...*). Elle pourra être complétée par des essais d'identification (*de réception*) réalisés sur des échantillons prélevés sur stock afin de vérifier la conformité des produits livrés aux documents agréés (*prescriptions du CCTP, certificats éventuels, fiches techniques*). Ces essais sont habituellement réalisés par le Contrôle Extérieur pour les essais prévus au CCTP. Le programme d'essai d'identification ainsi que la répartition entre les différents contrôles seront prescrits au CCTP. Les matériels mis en œuvre pour la réalisation de l'étanchéité pourront aussi être contrôlés. On s'assurera de leur bon état général et de leur bon fonctionnement. Pour certains matériels qui peuvent être étalonnés (*tensiomètre de chantier...*), on vérifiera que les certificats sont toujours valables.

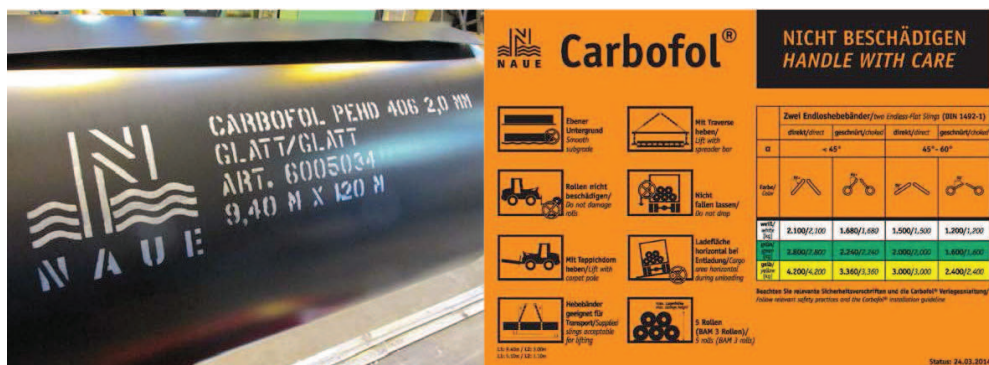


Image 30: Description technique de la géomembrane [source Naue]

La validation des différents éléments ou composantes de chaque partie de l'aménagement, dont la construction correcte est indispensable pour pouvoir poursuivre les travaux, est effectuée par l'organisme de contrôle et d'inspection externe.

Cet organisme constitue une instance de contrôle indépendante dans le cadre de la réalisation des travaux, elle représente les intérêts des autorités et assume la supervision de l'application des règles techniques et professionnelles. La réception provisoire de chacune des couches d'étanchéité mises en place et la validation de leur pose correcte avant de procéder à la réalisation de la couche suivante est effectuée par cet organisme de contrôle externe.

À cette fin, il faut lui remettre tous les documents lui permettant d'apprécier le traitement correct des matériaux et la réalisation technique en bonne et due forme des différentes parties de l'ouvrage. Les consignes à suivre pour ce faire ou les formulaires correspondants sont à rédiger par l'ingénieur chargé de la surveillance des travaux en concertation avec l'organisme de contrôle externe.

CONTRÔLES DU DOSSIER D'OUVRAGE EXÉCUTÉ (DOE)

Le contrôle du dossier de fin de chantier ne peut être fait que par une personne ayant suivi le chantier *maître d'œuvre, contrôle extérieur*. Cette tâche à elle seule ne peut suffire pour statuer sur la bonne réalisation du chantier car les éléments du dossier doivent être comparés à ce que l'on a pu constater tout au long de la réalisation du chantier.

La vérification de ce dossier et notamment du plan de récolement permet au maître de l'ouvrage de connaître l'état de son ouvrage à la fin de la réalisation des travaux d'étanchéité.

Ce contrôle permettra de vérifier la présence des pièces constitutives du DOE qui sont à minima :

- Le PAQ,
- Moyens humains (*liste nominative*) et matériels,
- Plan de récolement (*avec identification des assemblages*),
- Des photos,
- Le journal de chantier,
- Fiche de réception support et matériaux,
- Fiches de contrôle des soudures visées par le responsable,
- Fiches d'identification des non-conformités et leur traitement,
- Dossier des interventions ultérieures sur ouvrages.

RÉCEPTIONS PROVISOIRES

En règle générale, l'entrepreneur exigera une réception provisoire au fur et à mesure de la mise en place des différentes couches d'étanchéité, afin de pouvoir poursuivre sans délai les travaux conformément au calendrier qu'il a prévu. Les différentes réceptions provisoires doivent être effectuées directement avant la mise en place de la couche suivante du système d'étanchéité.

L'entrepreneur est responsable de la garantie d'une qualité suffisante de ces différentes couches, même lorsque la durée de la période comprise entre leur réalisation et la réception provisoire est relativement longue.

Sur les formulaires présentés à la date de la réception provisoire, l'entrepreneur doit indiquer les informations suivantes:

- Date ;
- Désignation de la section du chantier faisant l'objet de la réception provisoire;
- Désignation et description des matériaux mis en place ;
- Description du déroulement des travaux (*début, fin, conditions météorologiques, engins utilisés etc.*);
- Résultats des investigations géotechniques et autres analyses et instructions;

L'exactitude et la plausibilité des informations indiquées sur les formulaires intégralement remplis font l'objet d'une vérification par l'ingénieur chargé du suivi des travaux sur le site même. Ensuite, on procède à l'examen visuel de la section devant être provisoirement réceptionnée. Si nécessaire, l'ingénieur chargé du suivi des travaux peut exiger des contrôles supplémentaires.

Si la qualité de la section examinée concorde avec les instructions données dans les études du projet, la réception provisoire est alors prononcée par l'ingénieur qui donne ainsi son accord pour la mise en place de la couche suivante. Dans le cas contraire, l'entrepreneur est tenu d'améliorer la qualité fournie.

L'entrepreneur assume l'entière responsabilité des risques que présenterait une poursuite des travaux avant réception provisoire de la ou des couches préalablement mis(es) en place en supportant les coûts de leur réparation/remplacement dans le cas où l'ingénieur considérerait ultérieurement que leur qualité n'est pas satisfaisante.

Après réception provisoire, il convient de veiller à ce que la poursuite des travaux ou d'autres conditions ne puissent pas affecter les propriétés des composantes déjà réceptionnées.

La réception provisoire n'est pas considérée comme une réception au sens de la législation relative aux travaux de construction, elle constitue uniquement un accord validant la qualité fournie en ce qui concerne une surface ou un élément de construction en ouvrant ainsi la voie à la poursuite des travaux. Elle ne dispense pas l'entrepreneur de prendre les mesures de protection habituelles (*contre les intempéries, par exemple*) qui sont indispensables pour conserver la qualité d'une surface réalisée ou d'une partie de l'ouvrage.

RÉCEPTION DÉFINITIVE

La réception des parties de l'ouvrage réalisées appartient au maître de l'ouvrage en concertation avec l'organisme de contrôle externe, les autorités compétentes et les experts qu'il a mandatés. Elle s'effectue sur la base de la documentation élaborée par l'entrepreneur (*plans as-built*) des travaux telle qu'évaluée par l'organisme de contrôle externe et en s'appuyant sur les résultats de la supervision de la qualité de la partie de l'ouvrage concerné.

La réception définitive des travaux englobe toutes les parties de l'ouvrage et des installations techniques implantées. À cet égard, l'organisme de contrôle externe doit présenter un rapport assorti d'une évaluation de l'ensemble des mesures de suivi/contrôle et supervision de la qualité des travaux sur la base de laquelle il est en mesure de formuler ses conclusions et une certification, notamment en ce qui concerne l'exécution dans les délais prévus des prestations partielles et de l'ensemble de l'aménagement/ouvrage et le respect des exigences de qualité requise pour chaque partie de l'ouvrage, telles que fixées dans le plan d'assurance qualité.

PARTIE IV

L'EXPLOITATION

PARTIE IV

L'EXPLOITATION



AUTORISATION D'EXPLOITATION

Un centre d'enfouissement technique est une installation classée soumise à une procédure particulière d'autorisation.

Avant de commencer l'exploitation, une demande d'autorisation doit être adressée à l'autorité compétente en l'occurrence la Wilaya. Elle doit même précéder la demande du permis de construire.

Le dossier de demande d'autorisation d'exploitation d'une installation classée comporte un dossier technique et des plans. Il est constitué en détail :

- D'une demande.
- Et de pièces annexes.

La lettre de demande, signée, doit fournir les renseignements suivants :

La dénomination ou la raison sociale, sa forme juridique l'adresse de son siège social ainsi que la qualité du signataire de la requête.

L'emplacement sur lequel le site doit être réalisé (à préciser notamment la wilaya, la daïra, la commune, le lieu-dit du site faisant l'objet de la demande, le nom du maître de l'ouvrage, la description officielle du lieu, l'adresse de voirie : le numéro de ou des parcelle(s) cadastrales : l'adresse utilisée, comprenant le nom et le numéro, le type de voie, l'emplacement (*lot et plan*). Dans tous les cas, il faut indiquer le nom et numéro de téléphone de la personne chargée de suivre le dossier.

La nature et le volume des activités que le demandeur se propose d'exercer en termes de capacité maximale d'enfouissement des déchets, ainsi que la ou les rubriques de la nomenclature dans lesquelles l'installation doit être classée.

Capacités techniques et financières

Apporter toutes les informations utiles à l'appréciation de la capacité technique et financière permettant de mener à bien l'exploitation du site

Situation administrative de l'établissement concerné :

Indiquer éventuellement les autres installations classées du même établissement qui ont déjà fait l'objet d'arrêté d'autorisation, ou qui sont régulièrement déclarées au niveau de l'administration de la wilaya (*préciser la date des arrêtés ou récépissés de déclaration*).

Précision la nature de la demande : il faut mentionner s'il s'agit d'une nouvelle demande de certificat d'autorisation ou de la modification d'un certificat existant.

Pièces annexes

A chaque demande d'autorisation, les pièces suivantes doivent être jointes :

- L'emplacement de l'établissement classé projeté sera indiqué sur une carte à l'échelle comprise entre 1/25.000 et 1/50.000.
- Un plan de situation à l'échelle de 1/25 000 au minimum du voisinage de l'établissement jusqu'à une distance qui sera au moins égale au dixième du rayon d'affichage de 1 km (*pour les CET selon la nomenclature*). Sur ce plan, seront indiqués tous les bâtiments avec leur affectation, les réseaux des voies, les voies publiques, les points d'eau, les canaux et cours d'eau.
- Un plan d'ensemble, à l'échelle 1/200 au minimum, indiquant les dispositions projetées du site jusqu'à trente-cinq (35) m au moins de celui-ci, l'affectation des constructions et terrains avoisinants ainsi que le tracé des voies et réseaux divers (VRD) existants.
- Une échelle réduite jusqu'au 1/100 peut être exigée par l'administration.
- L'étude de l'impact de l'installation sur son environnement ; cette étude est un élément essentiel du dossier de demande d'autorisation.
- Une étude de danger qui, d'une part, expose les dangers que peut présenter l'installation en cas d'accident, d'autre part, justifie les mesures propres à en réduire la probabilité d'occurrence et les effets de nuisances.
- Une notice relative à la conformité de l'installation projetée avec les prescriptions législatives et réglementaires relatives à l'hygiène et à la sécurité du personnel.

Dans le cas d'un Centre d'enfouissement technique est exploité sans avoir fait l'objet de l'autorisation, il y a possibilité de procéder à cette demande dans les plus brefs délais afin de régulariser la situation vis-à-vis de l'administration compétente. Cette demande revêtira la même forme que celle décrite ultérieurement. L'installation devra cesser toute activité pendant cette période de régularisation.

En particulier, elle devra suivre un plan analogue à celui proposé ci-dessus. Parmi les mesures prises pour limiter ou supprimer les inconvénients de l'installation : on peut distinguer les mesures déjà prises et celles qu'il faudra prévoir. Il faudra également signaler, tant dans l'étude d'impact que l'étude de danger, les incidents ou les accidents portant atteintes à l'environnement survenus dans le passé.

La demande précisera en outre, succinctement l'historique de l'exploitation (*date d'ouverture, extensions intervenues*).

CONTEXTE DU SITE

Une fois la prise de possession du site, le responsable de l'activité sur le site d'un centre d'enfouissement technique doit avoir en sa possession tous les éléments indispensables à une connaissance parfaite du site, à savoir :

- Caractéristiques autorisées du site
- Capacité maximale et annuelle de l'installation en masse et en volume des déchets pouvant être admis
- Durée de l'exploitation prévisionnelle
- Les superficies de l'installation et de la zone à exploiter
- La hauteur sur laquelle la zone à exploiter peut être comblée
- La date de l'autorisation
- La date de mise en service du site
- Les plans d'implantation prévisionnels des casiers
- Les coupes géologiques
- Les positions retenues pour assurer les barrières de sécurité actives (*géomembrane, drainage*) et passives
- Les dispositifs retenus pour dévier les nappes de surface
- Les dispositifs retenus pour dévier les eaux de ruissellement extérieures au site
- Les dispositifs retenus pour le traitement éventuel des eaux de ruissellement du site
- Les dispositifs retenus pour le captage et le traitement des lixiviats
- Les dispositifs retenus pour le captage et le traitement des biogaz.

En règle générale, tout document permettant une connaissance la plus fine possible de l'histoire du site.

RÈGLES DE FONCTIONNEMENT

Le choix du site, les permis et les plans pour la création d'un centre d'enfouissement technique doivent être réglés par décret. Des règles précises doivent être respectées pour le choix du site, des études et des autorisations sont requises avant d'obtenir le permis d'ouverture. Il est indispensable de concevoir et d'appliquer les règlements pour protéger la santé publique et l'environnement. Un plan opérationnel permet de fixer le cahier des charges ainsi que de se préparer aux situations anormales. Il doit à la fois détailler les activités quotidiennes et comporter une certaine flexibilité.

Le responsable doit rédiger un ensemble de règles régissant toutes activités à l'intérieur du centre d'enfouissement technique.

Le règlement doit être :

Envoyé à toutes les Sociétés et Entreprises propriétaires :

- Des véhicules de collecte
- Des engins de travaux publics
- Tous les véhicules ayant l'autorisation de pénétrer sur le site

Les responsables de ces entreprises et sociétés doivent retourner le règlement signé en s'engageant à informer les chauffeurs de leurs véhicules.

- Affiché à l'entrée du Centre

Signé par tous les chauffeurs utilisant le centre

Ce règlement doit reprendre :

Les jours et heures d'ouverture

Le type de déchets admis, avec une liste des déchets et des redevances à payer par unité de quantité

Les véhicules autorisés

L'obligation de s'arrêter à l'accueil

L'obligation de donner toutes les indications sur :

- L'origine des déchets
- La date de collecte des déchets
- Le propriétaire du véhicule
- Le nom du chauffeur
- Le numéro de la tournée
- En règle générale, toute indication indispensable pour retrouver l'origine des déchets (*indispensable en cas de problème sur la qualité des déchets*)

Le pesage ou la méthode d'estimation du volume

L'obligation de suivre les indications de lieu de vidage données à l'accueil

L'obligation de suivre le trajet imposé entre l'accueil et la zone de vidage

L'obligation de respecter la vitesse maximum autorisée

L'obligation de ramasser les déchets tombés en dehors de la zone de vidage

L'interdiction à toute personne de se promener seule à pied sur le site

L'obligation de se présenter à l'accueil après vidage

L'obligation de respecter le STOP à la sortie du centre sur la voie publique.

Les procédures à appliquer en cas d'incendie

Les procédures à appliquer en cas de pollution accidentelle

Les procédures à appliquer en cas d'accident corporel ou de véhicules

Les heures d'ouverture doivent être fixées en fonction des heures de collecte des ordures dans la zone desservie par le centre d'enfouissement technique. Un horaire spécial doit être prévu pour les fêtes et jours fériés.

Ce règlement doit être imprimé et remis à toute personne appelée à entrer dans le centre d'enfouissement technique.

Un exemplaire est affiché à l'accueil.

Le règlement pourra être soumis à révision de temps en temps.

ADMISSION DES DÉCHETS

La livraison des déchets s'effectue durant les heures d'ouverture du site

Les déchets sont tout d'abord contrôlés puis pesés. Ensuite, toutes les caractéristiques des déchets livrés sont enregistrées dans le journal d'exploitation

Les déchets qui :

- Satisfont aux critères d'admission, sont réceptionnés puis traités et stockés provisoirement ou directement enfouis sur le casier ;
- Ne satisfont pas aux critères d'admission, sont éventuellement stockés sur une surface spécialement prévue à cet effet, ou carrément rejetés avec la prise des données du générateur.

HORAIRES D'OUVERTURE DU SITE

Les horaires d'ouverture dépendent de la quantité de déchets livrés au centre d'enfouissement technique pour traitement, ainsi que des méthodes de traitement employées. Traditionnellement, les anciennes décharges contrôlées étaient ouvertes sept jours sur sept du matin jusqu'au soir, avec une surveillance permanente pendant les heures d'ouverture. Les CET modernes nécessitent plus de gestion et de contrôle, donc plus de personnel. Il faut réceptionner les déchets à l'entrée, les peser et inscrire leur poids et leurs origines. Puis, il faut orienter les camions vers les différentes zones.

Dans le choix des horaires, il convient de tenir compte du temps nécessaire pour compacter et appliquer la couverture quotidienne par-dessus les déchargements de la journée. Il faut donc soit fermer la centre d'enfouissement technique une heure avant la fin de la journée de travail du personnel, soit allonger le temps de travail d'une heure après la fermeture.

Pour des raisons évidentes de sécurité, le centre d'enfouissement technique ne devrait pas être ouvert la nuit.

Pendant les heures d'ouverture, du personnel doit être présent en permanence.

Pendant les heures de fermeture, le portail doit être fermé pour éviter les dépôts sauvages.

Ce règlement doit être imprimé et remis à toute personne appelée à entrer dans le centre d'enfouissement technique.

Un exemplaire est affiché à l'accueil.

Le règlement pourra être soumis à révision de temps en temps.

CONTRÔLE DES ACCÈS AU SITE

Un centre d'enfouissement technique doit être entièrement clôturé de manière à interdire son accès en dehors des heures de fonctionnement. Une surveillance doit être assurée par des gardiens, pour veiller à ce qu'il n'y ait pas d'infractions et pour informer les autorités en cas de problèmes tels que vandalisme, incendies, utilisation illicite.

LES RESPONSABILITÉS DE L'AGENT DE RÉCEPTION

Vérification de l'identité des utilisateurs, pour s'assurer qu'ils ont une autorisation d'accès. Ceci se fait à l'aide d'un système de permis d'accès préalablement mis au point par les responsables du centre d'enfouissement technique. Les utilisateurs autorisés ont un autocollant sur l'avant gauche de leur véhicule.

Enregistrement de l'information concernant l'utilisateur, y compris la date, l'heure, le nom et le numéro de permis, le type de véhicule, le volume ou le poids des déchets, leur nature et leur origine géographique.

Orientation de l'utilisateur vers l'endroit approprié selon la catégorie de déchets apportés. Cette orientation sert de tri préalable, permettant de séparer les déchets à mettre en compost, à recycler ou à utiliser comme couche de couverture s'il s'agit d'une livraison de terre de remblai.

Réponse aux questions des utilisateurs, en particulier pour leur expliquer le règlement.

Une personne doit être chargée de l'accueil des véhicules

Elle a en charge :

Le contrôle du chargement

Le contrôle du véhicule notamment son autorisation

La pesée ou l'estimation du volume des déchets

Le type de déchets

Le cahier des entrées

Un exemplaire est affiché à l'accueil.

Le règlement pourra être soumis à révision de temps en temps.

Après cette procédure d'accueil, les utilisateurs quittent la zone de réception et suivent les voies d'accès pour rejoindre la zone de déchargement correspondant à leur type de déchets.



Figure 8o : procédure d'accueil des déchets

CONTRÔLE DE LA CIRCULATION

La circulation sur le site du centre d'enfouissement technique doit être bien organisée, avec des voies d'entrée et de sortie.

A l'entrée, il doit être impossible d'éviter le pont-basculé et le poste de réception.

Des poteaux, barrières, piles de pneus, gros blocs de pierre peuvent être érigés pour orienter les camions vers la zone de centre d'enfouissement technique en activité.

Les déchargements désordonnés doivent être interdits.

Un exemplaire du règlement est affiché à l'accueil.

Le règlement pourra être soumis à révision de temps en temps.

Un accès mal contrôlé à l'entrée du centre d'enfouissement technique entraîne des difficultés de circulation et des embouteillages au front, surtout lorsque le terrain est boueux.

Dans certains cas, surtout lorsque le terrain est très boueux, il est préférable de limiter l'accès des petits véhicules des particuliers au front, et d'offrir à ces derniers une zone où déposer leurs déchets dans des bennes placées à leur intention.

Les responsables du centre d'enfouissement technique doivent installer une signalisation claire, en grosses lettres, pour orienter la circulation vers les différents sites.

Une personne doit être chargée de la surveillance des circulations de véhicules et du contrôle du bon emplacement de vidage, cette surveillance est surtout indispensable en cas de centre d'enfouissement technique très étendue.

Etant donné la gamme de véhicules très divers se présentant à la centre d'enfouissement technique, le front peut avoir plusieurs zones de déchargement, une pour les véhicules munis de moyens mécaniques de déchargement, et l'autre pour les véhicules nécessitant un déchargement manuel et un autre pour les petits véhicules.

PNNEAU D'INFORMATION

Le responsable d'un site doit informer sur le site qu'il exploite. A ce titre, il est indispensable de poser un panneau à l'entrée du site en limite du domaine public pour dire ce qui se trouve de l'autre part de la clôture et que ce quelque chose caché derrière la clôture a reçu toutes les autorisations indispensables à son fonctionnement.

Un premier panneau en langue française et arabe doit être placé à l'entrée du site avec les informations suivantes :

- Installation classé pour la protection de l'environnement
- Identification de l'installation de stockage de déchets
 - o Numéro et date de l'arrêté d'autorisation
 - o Raison sociale et adresse de l'exploitant
 - o Jours et heures d'ouvertures
- Interdiction d'accès à toute personne non autorisée
- Numéros de téléphone de l'exploitant et de la gendarmerie ou de la police.
- Liste des déchets non autorisés

Les panneaux et affiches de signalisation et de communication doivent être élaborés dans le cadre des études et doivent être partie intégrante de la réalisation (*voir chapitres précédents*). Au cas où ceci n'a pas été fait correctement, le gestionnaire est tenu de réaliser à ses frais ses panneaux par une agence de communication et de signalétique. Une attention particulière sera portée à la visibilité et la lisibilité de ces panneaux. Ils doivent être résistants aux intempéries et à l'UV.

L'exploitant est tenu d'assurer un entretien périodique de ces panneaux :

- Contrôle visuel
- Nettoyage
- Remplacement de panneaux endommagés

PESÉE DES DÉCHETS À L'ENTRÉE

L'efficacité de la gestion du centre d'enfouissement technique et les projections sur sa durée de service dépendent de la quantité de déchets qui y sont enfouis. Il est donc nécessaire de classer et de peser toutes les livraisons (*ou de calculer leur volume*). On peut exclure de cette règle les pneus, qu'il est plus simple de compter, et les petites quantités apportées par les particuliers dans leurs voitures, pour lesquelles une estimation suffit. Les poids, volumes et catégories sont intégrés dans le projet final de l'installation, et servent de base pour la mise au point du système de gestion financière.

Il existe deux manières de calculer la quantité de déchets mis en centre d'enfouissement technique. La première consiste en l'installation d'un pont-bascule, permettant de peser les véhicules pleins à l'entrée (*poids brut*) et vides à la sortie (*tare, ou poids à vide*) ; la différence entre ces deux mesures est le poids de la livraison (*poids net*). Cette méthode de mesure signifie que, du matin jusqu'au soir, tous les véhicules entrants et sortants doivent être pesés.



Image 31 Poste d'entrée avec pont-bascule

L'agent de réception doit enregistrer toutes les livraisons de déchets, leurs poids, leur nature, le numéro d'immatriculation du véhicule, leur origine, à l'aide d'un code de classification. Non seulement l'agent doit remplir le registre des entrées, mais il doit aussi maintenir à jour une liste des poids à vide des véhicules. Cette liste est conservée près du pont-bascule et évite d'avoir à peser les camions vides à chaque passage. Les registres sont vérifiés et relevés de manière quotidienne, hebdomadaire et annuelle, et ces relevés servent à établir les bilans techniques du centre d'enfouissement technique.

Une autre solution, qui évite d'avoir à installer un pont-bascule, est de faire appel à des dispositifs de pesage portable pour effectuer les pesées pendant des périodes de deux semaines à différents moments de l'année de préférence, et d'en tirer une estimation de poids reçus annuellement. La balance portable remplit la même fonction que le pont-bascule, mais il faut un agent supplémentaire au moins pour effectuer les opérations de pesée des véhicules.

Dans le cadre de cette deuxième méthode, les agents de réception ont toujours pour tâche d'inscrire dans le registre des entrées tous les renseignements concernant les véhicules et les déchets à décharger sur le site. Ces informations sont analysées pour calculer le volume de déchets reçus.

LE CHIFFONNAGE

Le chiffonnage doit être absolument interdit dans les zones d'évolution des engins.

Un chauffeur de poids lourds ou de compacteur n'a pas une vision complète de son champ d'action.

Néanmoins, le chiffonnage est une forme de recyclage et le recyclage diminue les tonnages à enfouir et diminue l'achat de matière première.

C'est pourquoi, si la décision d'autoriser le chiffonnage est prise par les autorités, il faut l'organiser pour éviter les accidents, les envois de papier ou de détritux divers, les incendies.

Une des solutions consiste à créer à proximité du casier une zone de tri d'environ 10 mètres de large bordée par un grillage sur piquet bois. Les véhicules de déchets les plus intéressants à trier sont vidés dans ce couloir. Les chiffonniers interviennent, puis en fin de matinée et de journée, les déchets sont mis en place après avoir interdit l'accès à la zone.

Des règles sanitaires sont à mettre en place pour éviter tous accidents sur les personnes (*obligation de porter des bottes, des gants*). En aucun cas le chiffonnage ne peut être effectué sur des véhicules en provenance d'hôpitaux, d'industries particulières etc.

Organisation des chiffonniers

- Obligation de porter des bottes et des gants
- Vaccination obligatoire
- Déversement des déchets sur une plateforme avant enfouissement et compactage
- Temps de ramassage et de tri de max. 15 min par camion pour les chiffonniers avant enfouissement et compactage
- Ensuite enfouissement et compactage des déchets (*recul des chiffonniers*)

Un exemplaire est affiché à l'accueil.

Le règlement pourra être soumis à révision de temps en temps.

CRÉATION DES ALVÉOLES

Avant d'entreprendre la réalisation d'alvéole, il faut évaluer le volume d'espace nécessaire pour la quantité de déchets à enfouir (*en mètres cubes*). Le volume se calcule en appliquant une règle de 250 kg/m³ pour les déchets à l'arrivée, et 750-900 kg/m³ après la mise en place et compactage. Plus on augmente la densité des déchets, plus on prolonge la durée de service du centre d'enfouissement technique. Comme il est interdit de faire brûler les ordures dans les centres d'enfouissement techniques, un bon compactage est très important pour réduire le volume final des déchets en centre d'enfouissement technique. Les matériaux de couverture représentent en général à peu près 20% du volume total du remplissage d'un centre d'enfouissement technique, les déchets compactés représentent donc 80%. Puis, au fur et à mesure de la décomposition, il se produit un tassement, estimé en général de 15% à 30% de la hauteur des déchets après compactage et couverture finale.

Le projet de création du centre d'enfouissement technique (*phase étude*) a défini le nombre prévisionnel de casiers ainsi que leur taille.

La création d'un casier et des alvéoles intérieures dépend essentiellement du tonnage prévisionnel annuel à traiter.

Le responsable du centre d'enfouissement technique doit définir le nombre de casier et d'alvéoles qui lui sont nécessaires pour assurer l'activité correcte du site pendant un an. Les travaux préparatoires doivent être entrepris pendant la meilleure période de l'année généralement au printemps et en été.

PLAN D'ENFOUISSEMENT, PLAN DE REMPLISSAGE

Le nivellement des déchets constitue une étape essentielle de la gestion d'un casier, lorsqu'il est bien réalisé certaines nuisances sont évitées, le volume du casier est exploité au maximum de ses potentialités, la circulation sur les déchets est aisée et la réhabilitation du casier progresse en parallèle avec son remplissage.

Une telle approche nécessite l'existence de plans de nivellement définissant

- Les côtes à atteindre en intégrant les tassements secondaires qui apparaîtront durant les premières années;
- La séquence de remplissage des différents alvéoles du casier;
- La localisation des stocks de matériaux de couvertures intermédiaire et finale;
- La gestion des eaux de ruissellement à l'intérieur et aux abords du casier durant les différentes phases d'exploitation du casier;
- La gestion de la circulation sur le casier durant les différentes phases d'exploitation;
- L'installation du système de dégazage, en particulier les drains horizontaux et les puits verticaux.

Lorsque l'on a déterminé le volume requis, on établit un plan du site. Sur ce plan seront tracés les différents éléments de construction, digues, étanchéité. C'est ce plan qui servira à fixer les hauteurs définitives, et à les traduire en côtes de niveau à respecter lors des déchargements.

Les plans doivent comprendre le plan de réaménagement final après remplissage total, lorsque le volume maximum sera atteint. Pour réaliser ce volume, les côtés doivent avoir des pentes ne dépassant pas un rapport de 1 pour 3, c'est-à-dire un mètre en hauteur pour 3 mètres au sol. Cette pente permet un accès facile aux engins, et donc un compactage optimum, tout en apportant de bonnes fondations pour le site définitif après fermeture du centre d'enfouissement technique.

Les conditions topographiques du site déterminent la configuration du centre d'enfouissement technique. En terrain plat, la configuration la plus fréquemment mise en œuvre est la méthode de remplissage par zones. Le sol est creusé jusqu'à la profondeur voulue et la terre mise de côté. Les parois et le fond du bassin de retenue des eaux de percolation sont installés selon les plans. Les déchets sont déposés par casiers et en couches selon un plan de remplissage séquentiel.

La hauteur des déchets est variable selon le site retenu. Mais généralement pour obtenir un bon compactage, il y a lieu de prévoir le remplissage par couches successives de 5-10 mètres.

Attention : ceci ne veut pas dire que le compactage se fait après 5-10 m de hauteur. Le compactage doit se faire quotidiennement en fine couche (environ de 60 cm). Une fois la hauteur de 5 à 10 m atteinte, il faudra prévoir des mesures de stabilisation et de digues de rehausse.

Le plan de remplissage s'orientera au plan de phasage élaboré par le maître d'œuvre pendant la phase d'étude.

Le nivellement permettra de comparer les estimations prévues avec la réalité du terrain ainsi que de faire les prévisions adéquates pour les prochaines étapes (*ouverture de la prochaine alvéole, extension de casier etc*).

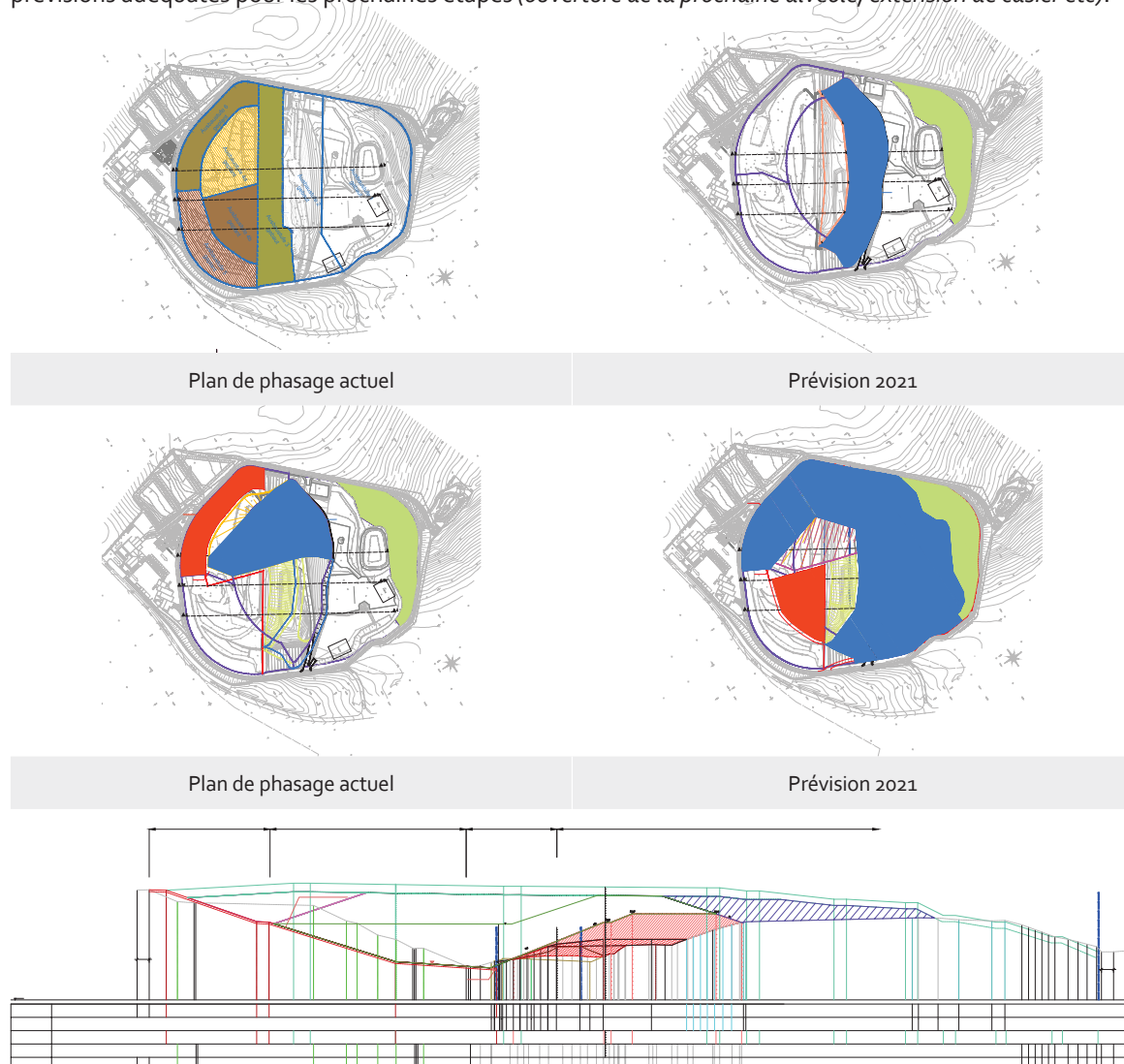


Figure 81 Plan de phasage et de remplissage

Création des alvéoles

- Définir les besoins de l'année
- Définir la zone d'extension
- Définir les digues à construire
- Définir l'étanchéité du fond, des digues à mettre en place
- Définir le système de drainage des lixiviats
- Définir la position du bassin de lixiviats
- Définir les pentes pour éviter au maximum le ruissellement des eaux pluviales
- Définir les accès des véhicules
- Définir les sens de remblaiement
- Définir les spécialisations des casiers
- Définir le réaménagement final et les raccordements avec les zones déjà exploitées
- Définir comment et vers où seront dirigées les eaux pluviales une fois le réaménagement effectué.

PROGRAMME DE REMPLISSAGE

Un premier plan de phasage donnant déjà les premiers éléments d'exploitation doit être élaboré au cours de la phase d'étude et être déjà présenté pour validation au moment même de la demande d'autorisation d'exploitation.

Ensuite, il convient de le vérifier et de l'actualiser avant la mise en service du site d'enfouissement. Sur cette base, un programme et un plan de remplissage sont élaborés.

Un plan de remplissage doit être conçu pour assurer une utilisation maximum du volume disponible tout en assurant une protection de l'environnement la plus élevée possible.

Le plan de remplissage prend en compte les contraintes suivantes :

- Les accès des alvéoles par le véhicule.
- Les surfaces en exploitation limitée pour éviter l'augmentation du volume des lixiviats par les eaux pluviales.
- Les pentes de couvertures intermédiaires et finales doivent être suffisantes pour faciliter les écoulements des eaux de pluie vers l'extérieur des casiers.
- Les temps de compactage des déchets doivent être suffisants pour éviter la perte de volume et le tassement intempestif ultérieur.

En termes de contenu, il comprend :

- L'organisation et le calendrier de réalisation des différentes phases d'exploitation (*y compris les phases de travaux des différents casiers réalisés et la fermeture de ceux-ci après saturation*) ;
- Les plans en fonction des différentes situations (*états d'exploitation*)
- Les stratégies à adopter pour réduire la production de lixiviats.

ENFOUISSEMENT DES DÉCHETS

Le casier doit être exploité de façon à ce que :

- Sa stabilité soit garantie
- Les émissions soient aussi faibles que possibles de même que la production de lixiviats en particulier
- Les réactions entre les déchets et les lixiviats puissent être réduites à un minimum
- La capacité du casier puisse être exploitée au maximum
- Des incendies et des émissions olfactives puissent être évités.

Par conséquent, les modalités suivantes d'enfouissement sont à respecter :

- Enfouissement des déchets par couches successives
- Compactage des déchets déposés à l'aide d'un engin approprié
- Couverture (*saupoudrement léger*) des déchets avec de la terre ou des matériaux inertes de préférence le jour même de leur enfouissement, afin de réduire autant que possible l'infiltration des eaux de pluie sur la zone d'enfouissement (*attention à ne pas utiliser de l'argile, provoquant une zone de compression involontaire et intermédiaire des lixiviats et des gaz*).
- Fermeture définitive ou temporaire rapide des alvéoles ou casiers saturés et couverture avec de la terre ou une étanchéité de surface (*géo-membrane*) afin de réduire la production de lixiviats.

En cours d'exploitation, il doit être possible de protéger les casiers qui ne sont pas complètement remplis en les recouvrant avec de la terre ou des matériaux inertes, afin d'empêcher les eaux de pluie de pénétrer.

Plusieurs alvéoles peuvent être mis en service simultanément dans des zones différentes du casier.

- Chaque alvéole ouverte peut être réservée à un type de déchet, par exemple
 - o Alvéole pour déchets industriels banals,
 - o Alvéole pour ordures ménagères,
 - o Alvéole pour minéraux,
 - o Alvéole pour pneus.

En ce qui concerne les gravats et déblais divers, il est recommandé de les stocker dans une zone particulière et de les utiliser au fur et à mesure pour le recouvrement journalier, les pistes réservées aux véhicules, etc.

C'est pourquoi, il est impératif de construire les alvéoles conformément aux préconisations définies à l'origine.

Une alvéole est conçue pour être, une fois remplie, une boîte hermétique.

Rien ne peut y entrer ou en sortir sans être contrôlé par l'homme.

D'où l'importance des dispositifs d'étanchéité du fond, des flancs et de la couverture

REMPLEISSAGE DES ALVÉOLES

La gestion du remblaiement du centre d'enfouissement technique est une des composantes essentielles.

elle permet d'assurer :

- Une utilisation maximum du site
- Un bon compactage (= *pas de vide = pas de place perdue*)

Chaque alvéole ne doit contenir que la catégorie de déchets pour lesquels elle est destinée (*traçabilité*)

DÉVERSEMENT DES DÉCHETS

Les déchets ménagers, y compris les déchets commerciaux, industriels et de bureaux assimilés aux déchets ménagers, représentent la majeure partie du flux des livraisons. Il convient de les déposer à la base du front du casier (*zone de dépotage et de tri*). Dès le déchargement, il faut commencer les opérations de tri autorisé pour mettre de côté les matériaux recyclables.

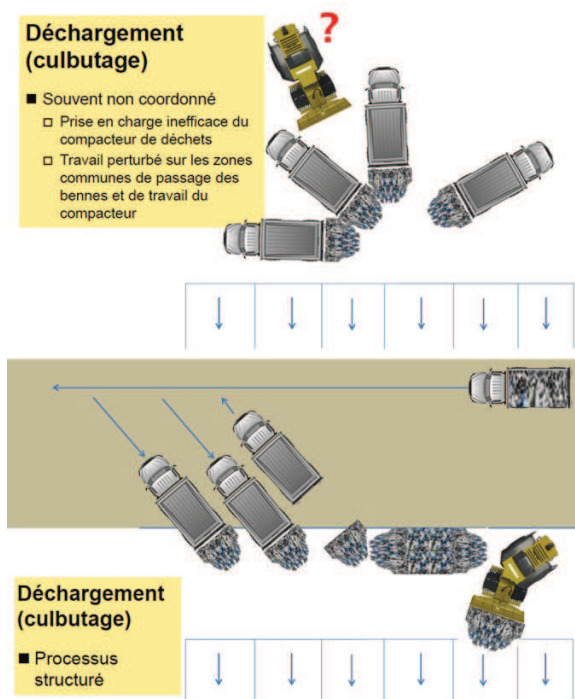


Figure 82: Organisation structure du déchargement (source Bomag©)

Lorsque les livraisons sont composées essentiellement de papier et de carton (*déchets de bureaux commerciaux*), on peut décharger sur une aire proche de l'entrée du site, pour permettre un temps plus long au tri.

Les administrateurs du centre d'enfouissement technique doivent se concerter avec les sociétés de recyclage ou les chiffonniers, pour offrir un délai suffisant pour séparer les matériaux recyclables.

Une fois les produits recyclables retirés, **les déchets doivent être étalés et compactés par couches de 0,5 m. L'engin de compactage passe de deux à cinq fois par couche.**

Les déchets urbains comportent souvent des produits encombrants, tels que meubles ou appareils ménagers hors d'usage. On doit d'abord essayer de les recycler, et si cela s'avère impossible, on les écrase à l'aide du compacteur puis on les dépose avec les autres déchets compactés.

Il se peut que les responsables du centre d'enfouissement technique reçoivent des demandes de prise en charge de déchets industriels. Celles-ci nécessitent une attention particulière pour évaluer les méthodes de traitement les plus efficaces et les plus sûres pour l'environnement. **Il ne faut jamais accéder à une demande concernant des boues, des liquides ou des solides qui sont dangereux, il faut exiger des analyses d'échantillons des déchets, ainsi que des renseignements complets, avant d'accorder l'autorisation d'accès au centre d'enfouissement technique.** Ils doivent être toujours stockés dans des alvéoles ou casiers spécifiques.

Il existe des cas où des CET reçoivent régulièrement des livraisons de déchets industriels dangereux auxquels un simple traitement en centre d'enfouissement technique de classe II ne convient pas. Si le centre d'enfouissement technique continue de les accepter, il y a un risque important de pollution de la nappe phréatique et du sous-sol, avec des conséquences financières graves pour la dépollution future.

Dans ce cas, il faut prévenir l'usine produisant ces déchets que le centre d'enfouissement technique ne les acceptera pas, et leur donner un préavis de suspension d'autorisation leur permettant de trouver une autre solution pour le traitement de leurs déchets, ou à créer des alvéoles et casiers réservés exclusivement à ces déchets particuliers, avec une technique de construction plus poussée. L'étanchéité du fond et des flancs devant répondre à des critères plus draconiens.

Lorsque l'agent de réception observe l'arrivée d'un chargement de déchets industriels interdits, il doit lui en interdire l'accès, et noter le numéro d'immatriculation, le nom de la société, celui du chauffeur, et en informer les services de l'Environnement. Ceux-ci se chargeront de suivre le dossier et de s'assurer que le chargement de déchets dangereux a été convenablement traité ailleurs.

Si la présence de déchets toxiques ou dangereux est constatée dans un déchargement après le départ du véhicule, on doit les séparer des autres déchets, à condition que leur manipulation ne soit pas dangereuse pour le personnel. Puis on fait enlever ces déchets toxiques par une équipe ou un agent spécialisé en traitement des déchets toxiques. Le directeur du centre d'enfouissement technique alerte la société et lui présente la facture pour toutes les opérations de retrait et de traitement de ses déchets toxiques. Ces derniers sont stockés dans une zone à l'écart des activités habituelles, à l'abri de la pluie, des animaux, et des personnes.

Les carcasses d'animaux morts ne peuvent pas être admises en centre d'enfouissement technique. Si des carcasses sont découvertes dans les déchets, il faut les enlever et les apporter au site de traitement approprié, dont le directeur du centre d'enfouissement technique trouvera l'adresse auprès de la Direction de l'environnement.

Les cendres et mâchefers provenant d'incinérateurs ou de chaudières peuvent comporter du charbon incandescent, où des braises. Il faut les stocker à part, sur une aire particulière loin des alvéoles, où on les observera quelque temps, pour éliminer le risque d'incendie. Lorsqu'il y a certitude de refroidissement total, ces cendres peuvent être déversées avec les autres déchets ou utilisées sur les pistes de chantier.

Une zone distincte doit être créée dans le centre d'enfouissement technique pour le stockage des pneus, à condition qu'il existe des possibilités de les faire recycler. Les agents du centre d'enfouissement technique doivent orienter les camions déchargeant des pneus vers cette zone spéciale. S'il n'y a pas de demande de recyclable de pneus, les pneus doivent être déposés au fond des alvéoles de centre d'enfouissement technique en activité et les ordures ménagères et autres déchets sont déposés par-dessus. Cette méthode permet d'éviter que les pneus ne remontent à la surface à travers les couches de couverture.

Les branchages et autres résidus végétaux propres doivent être déposés dans une zone spéciale où tous les autres matériaux sont interdits. Il existe différentes possibilités de traitement de ces végétaux.

On peut les réduire en copeaux par hachage mécanique (*déchiqueteuse*) ou les broyer et les compacter avec un compacteur, ou avec un bulldozer, puis les recouvrir d'une couche de terre à intervalles réguliers. Dans le cas de la réduction en copeaux, ceux-ci peuvent servir soit de combustible, soit de matériau de jardinage.

Les branchages peuvent aussi être mis en compostage avec les autres résidus végétaux provenant des jardins, et que l'on a isolés de l'ensemble des déchets. Le compost peut ensuite être utilisé comme humus pour la couverture finale, et la remise en herbe ou en culture dans les zones où le centre d'enfouissement technique a atteint la hauteur prévue. Le compost peut aussi être employé par la commune en fonction de ses besoins, par exemple en bordure de route après des travaux, où dans les jardins publics.

Une zone spéciale peut être réservée aux gravats et autres matériaux inertes provenant des chantiers de construction ou de démolition. Ils seront déposés en couches dans des cellules, comme pour les ordures ménagères, mais sans couverture quotidienne. Un nivelage est pratiqué régulièrement, et les cellules sont recouvertes de manière à créer plusieurs bandes de stockage verticale.

Les gravats peuvent aussi servir à construire des digues dans le centre d'enfouissement technique, en préparation des bandes de stockage suivantes. Si ces matériaux de démolition consistent surtout de terre de remblai, on peut aussi l'utiliser pour la couverture quotidienne.

En général, l'apport d'eau dans un casier de CET est à éviter, car il augmente la quantité de lixiviat. Ceci entraîne un surcoût en collecte et traitement des eaux de percolation. Les liquides contribuent aussi à augmenter le risque de fuite des eaux de percolation hors du bassin de retenue, donc de pollution de la nappe phréatique. Par conséquent, seules les installations conçues spécialement pour recevoir et traiter les déchets très humides sont habilitées à les admettre.

Afin de réduire les coûts de fonctionnement et de protéger la nappe phréatique, il faut, en règle générale, exclure les déchets liquides. Pour connaître le système d'hygrométrie d'un chargement de déchets, on peut effectuer le « **test du filtre à peinture** ». Un échantillon des déchets est placé dans un filtre à peinture. Si du liquide traverse par gravité le filtre et coule dans le récipient en dessous, cela signifie que les déchets sont trop humides pour une mise en centre d'enfouissement technique. Ce test est très utile pour déterminer l'admissibilité de boues et autres résidus provenant des stations d'épuration.

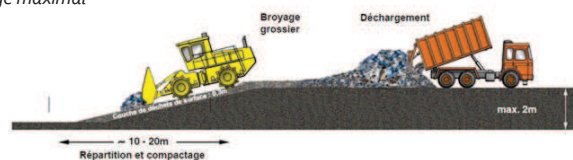
Le lisier et le contenu de fosses septiques ne peuvent être admis en centre d'enfouissement technique traditionnel, d'ailleurs ces matières échouent en principe au test du filtre à peinture. La recherche d'autres méthodes de traitement du lisier et du contenu de fosses septiques est à effectuer.

MÉTHODE DE REMPLISSAGE

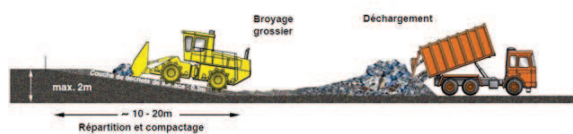
En fonction de la topographie du casier, le meilleur compactage que l'on peut obtenir c'est que lorsque le compacteur peut circuler sans danger sur les talus. Le compactage doit se faire en fines couches de 0,5 m.



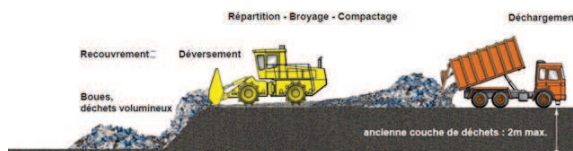
Travail en fines couches: Compactage maximal



Travail sur front large (en descente) : Compactage de qualité



Travail sur front large (en montée) : Compactage de qualité



*Casier profond/pente abruptes (Cas de la plupart des CET en Algérie actuellement)
Utilisation uniquement de la lame (pas de compactage)*

Figure 83: Technique de compactage des déchets (source Bomag®)

Attention

Malgré les techniques présentées ci-dessus, on ne peut pas utiliser le compactage dès l'arrivée des premiers déchets.

En effet, il est recommandé de tasser les première couches de déchets avec un chargeur sur pneus ordinaire sur une hauteur d'environ 2 m. Cette couche protégera la couche de drainage d'un endommagement par le poids important et les dents du compacteur.

Différentes techniques d'étalage et de compactage peuvent être utilisées en fonction de la configuration du casier, du type de déchets arrivants et des engins disponibles :

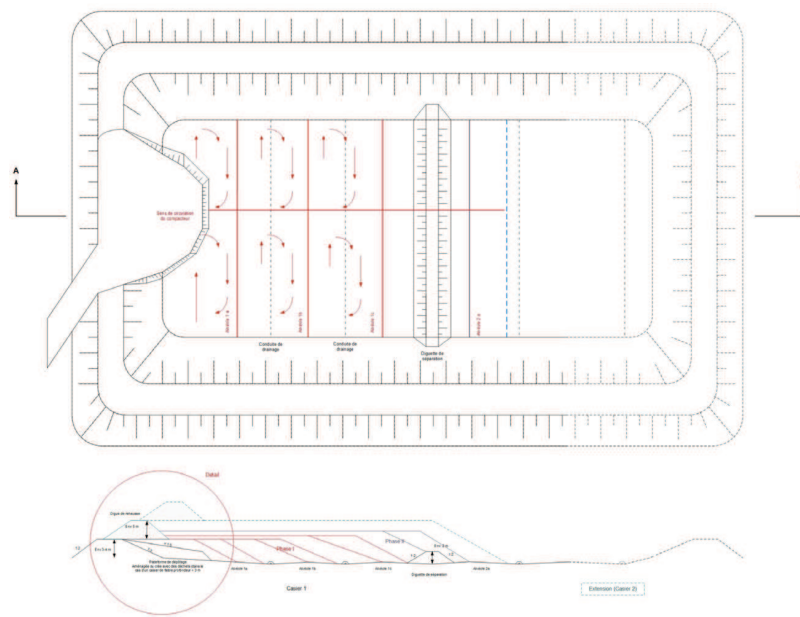


Figure 84: Gestion classique en alvéole de forme « rectiligne uniforme »

Séparation du casier en plusieurs alvéoles d'environ la même taille

Plateforme de dépotage suffisamment large pour une bonne circulation des camions et du compacteur

Chaque alvéole peut être destinée à un type de déchets (*monocharge*)

Exploitation séquentielle

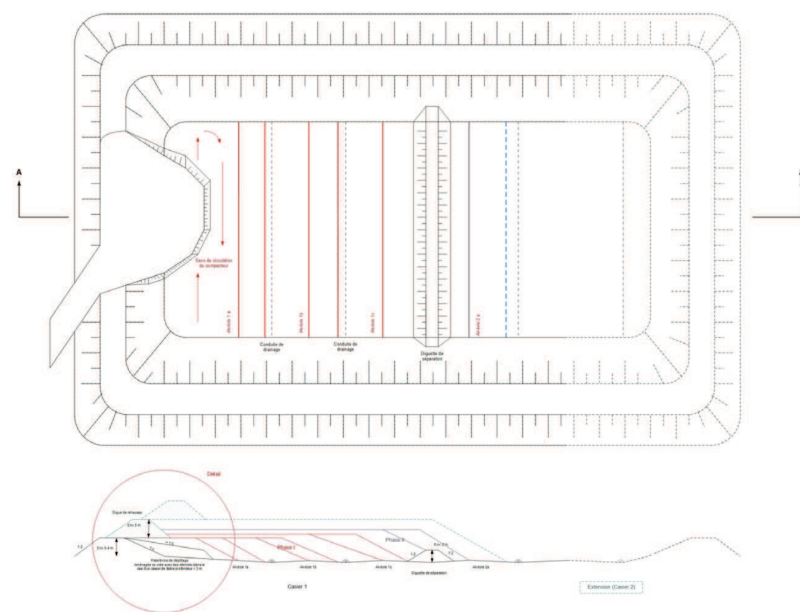


Figure 85: Gestion en bande

Séparation du casier en bande

Plateforme de dépotage suffisamment large pour une bonne circulation des camions et du compacteur

Exploitation séquentielle

Avantageux pour des déchets homogènes (*pas de monocharge*)

Longueur de passe plus élevée, moins de virement du compacteur

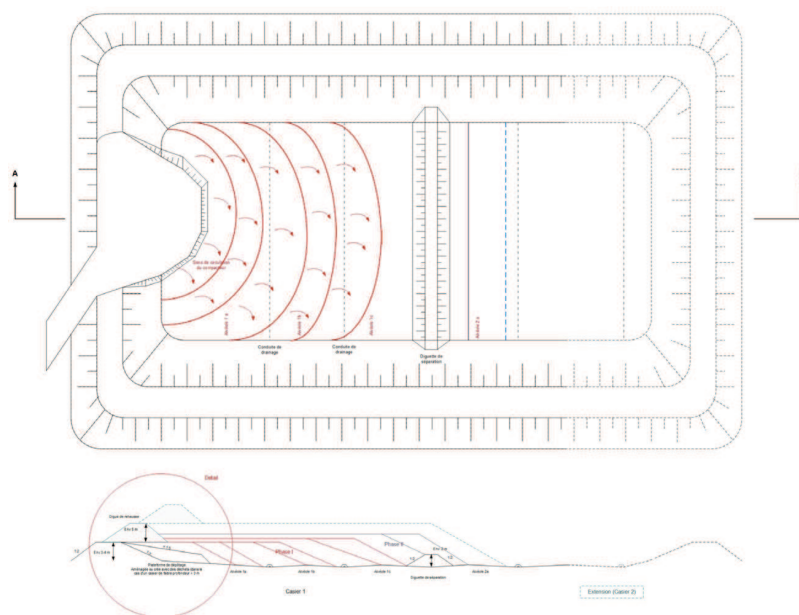


Figure 86: Gestion en demi cercle

Plateforme de dépotage suffisamment large pour une bonne circulation des camions et du compacteur

Exploitation séquentielle

Peu recommandé car zone de progression non uniforme.

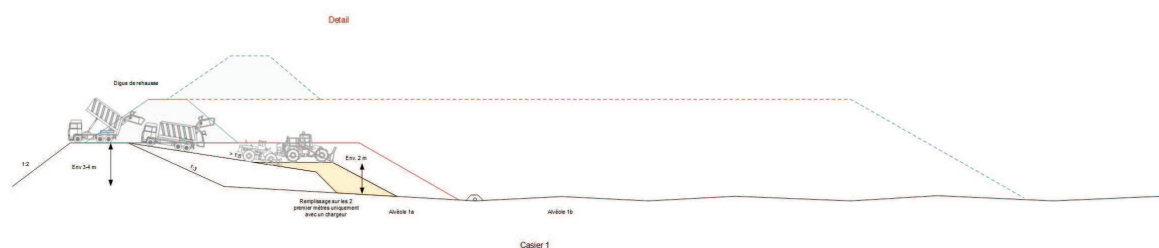


Figure 87: détail de la zone de dépotage

PLAN DE SUIVI

L'alvéole est l'unité de base en matière d'enfouissement correct et sanitaire des déchets dans un centre d'enfouissement technique. Tous les déchets reçus en centre d'enfouissement technique sont étalés et compactés dans une zone confinée. A la fin de chaque journée de travail, la couche de déchets est recouverte d'une couche de terre fine et homogène qui sera à son tour compactée. L'ensemble compacté déchets/terre constitue une alvéole. Un groupe d'alvéoles adjacentes et de même hauteur forme un casier.

Les dimensions d'une alvéole sont limitées de 2000 à 2500 m². La surface exploitée par jour dépend du flux journalier des déchets, elle est limitée en surface pour éviter une consommation importante de terre de couverture journalière.

Le casier a une hauteur variable de 10 à 50 mètres, le plan de remplissage se conçoit par tranches de 10 mètres de hauteur.

CONSIDÉRATIONS LIÉES À LA SÉCURITÉ ET À L'ENTRETIEN

Sécurité des personnes

Il faut prévoir des dispositifs de sécurité conformes à la législation en vigueur et aux règles de sécurité du site (*escalier de talus rapportés, échelles imputrescibles et souples, bouée, clôture,...*).

Curage, entretien

Les opérations de curage et d'entretien, ainsi que les moyens permettant de réaliser ces opérations (*rampe d'accès,...*) qui surviendront au cours de la vie normale de l'ouvrage doivent être appréhendées par le concepteur. Une structure de protection est parfois indispensable en fonction de la solution retenue.

Les éléments fragiles et/ou saillants (*évents, regards de drainage, échelle de corde*) doivent être signalés et/ou protégés.

Surveillance et auscultation

Quelle que soit sa forme juridique (*personne physique ou morale privée, collectivité locale, etc.*), le propriétaire est pleinement responsable tant au civil qu'au pénal, des dommages qui peuvent être occasionnés aux ouvrages dont il a la garde, et en particulier le cas échéant par sa rupture.

En cas de sinistre avec dommages au tiers, le défaut manifeste d'entretien et de surveillance de l'ouvrage serait de nature à aggraver les circonstances.

Au-delà des considérations de responsabilité, l'objectif de maintenir l'ouvrage en bon état de fonctionnement justifie à lui seul la surveillance et l'entretien régulier :

- La surveillance régulière permet de détecter à temps la plupart des désordres à un stade précoce, de suivre des phénomènes évolutifs, et de prendre à temps les mesures d'entretien et de réparation qui s'imposent pour maintenir les fonctions et la sécurité de l'ouvrage,
- L'entretien des ouvrages permet de freiner leur vieillissement et donc d'augmenter leur longévité.

FERMETURE DES ALVÉOLES

Parmi les trois catégories de couverture, quotidienne, intermédiaire et finale, on retient celle qui correspond au temps d'exposition prévu. Une couverture quotidienne peut rester exposée pendant une semaine au maximum, une couverture intermédiaire d'une semaine à un an, et une couverture finale un an et au-delà.

Couverture quotidienne

La fonction première est d'empêcher l'éparpillement des détritiques, l'accès des insectes, rongeurs, oiseaux, et de prévenir tout risque d'incendie. En général, la couverture quotidienne a une épaisseur de 10 cm après compactage, et tous les types de terre peuvent convenir. En principe, on recouvre le dessus et les côtés en pente de la cellule en ne laissant découvert que le front de centre d'enfouissement technique. Il est préférable d'employer une terre sableuse ou plus poreuse. On doit en priorité réserver la terre non poreuse pour la couverture finale, en la stockant dans une zone à part. Toutes les terres apportées au centre d'enfouissement technique doivent être mises de côté pour différents usages.

La couverture quotidienne a pour effet de ralentir la percolation des eaux pluviales, ce qui peut forcer les eaux de percolation à s'échapper latéralement et entraîner des problèmes d'odeurs nauséabondes, de pollution, et de destruction de la végétation. Pour éviter ces inconvénients, la pratique la plus courante est la suivante : en début de journée, avant de déposer une nouvelle couche de déchets sur la couverture de la veille, on repousse celle-ci sur 10 m à partir des bords du centre d'enfouissement technique. Cette opération de dégagement des bords extérieurs est particulièrement importante.

Couverture intermédiaire

Celle-ci a les mêmes fonctions que la couverture quotidienne, mais en plus, elle sert de terre-plein pour la circulation des engins pour construire le niveau de stockage suivant (*rehausse*). Il faut pour cela qu'elle ait une épaisseur de 30 cm environ. Un entretien régulier de cette couche sera nécessaire, pour remédier à l'érosion des intempéries et de la circulation des engins. Tout type de terre peut convenir, à condition que la terre offre de bonnes propriétés structurales.

MISE EN PLACE DU SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DES LIXIVIATS

Le lixiviat recueilli grâce au réseau de drainage et au bassin de retenue doit être traité avant évacuation dans les réseaux d'assainissement. C'est parce que le lixiviat peut être fortement polluant qu'il ne doit, en aucun cas, faire l'objet d'un rejet direct. Le traitement minimal le plus souvent appliqué fait appel à un processus biologique de décomposition de la DBO₅ et de la DCO, et peut être assorti d'un traitement chimique afin d'abaisser encore les teneurs en métaux lourds.

Dans des localités desservies par une station d'épuration, le lixiviat peut être déversé en petites quantités dans les eaux traitées par la station, à condition que celle-ci ait une capacité suffisante pour le traiter.

Avant de commencer ces déversements, les responsables du centre d'enfouissement technique et de la station devront établir ensemble un plan des rejets instantanés, horaires, journalier, en tenant compte des charges biologiques et hydrauliques admissibles.

Le responsable de la station d'épuration estimera peut-être nécessaire de fixer des limites également pour d'autres caractéristiques chimiques, afin de maintenir la qualité.

Si la station d'épuration ne dispose pas de capacité de traitement biologique suffisante, il pourrait s'avérer nécessaire de créer une station de traitement préalable du lixiviat sur le site de centre d'enfouissement technique puis évacuer le lixiviat partiellement traité vers la station d'épuration

Il est important de noter cependant que la construction et le fonctionnement de ces systèmes de traitement du lixiviat relèvent d'une grande technicité et reviennent très chers.

Avant de lancer un projet de traitement du lixiviat, il faut surveiller les temps de formation les quantités produites etc. en pratiquant des tests de traitement sur une petite échelle. La meilleure des solutions et la moins onéreuse est la possibilité de se raccorder à une station d'épuration existante soit gravitairement où par pompage soit par transport routier.

Le casier d'enfouissement peut parfois être un lieu tentant de déversement du lixiviat. Une fraction de lixiviat peut circuler à nouveau à travers les déchets afin de promouvoir la décomposition biologique, mais il faut savoir que la plupart du temps, cette procédure fera augmenter les quantités de lixiviat qui s'échappera du bassin de rétention.

De plus, cette procédure peut provoquer la fuite du lixiviat vers la nappe phréatique ou en dehors du casier, sans parler du problème d'odeurs nauséabondes lors de la recirculation du lixiviat. Si cette dernière est bien appliquée et surveillée, la procédure facilitera la gestion du lixiviat, mais elle n'est pas la solution unique à son évacuation.

Des bassins d'évaporation peuvent également limiter les quantités de lixiviats à réinjecter dans les alvéoles.

Les déchets ainsi que le lixiviat qu'ils produisent en se décomposant ne doivent jamais entrer en contact avec la nappe phréatique potentielle en dessous du site. L'implantation de la construction des puits de surveillance fait partie intégrante du concept opérationnel du centre d'enfouissement technique. Il faut en général au moins un puits en amont et deux en aval pour pouvoir faire de bons prélèvements pour une analyse. Le système de contamination de la nappe phréatique reflète la qualité de la gestion du centre d'enfouissement technique.

L'échantillonnage et l'analyse devraient être menés au printemps ou à l'automne. Si la contamination existe, l'exploitant devrait évaluer l'étendue de la contamination, et les conséquences néfastes que celle-ci pourrait avoir sur l'alimentation en eau. Une fois le niveau de contamination évalué, il est alors possible de mettre en place des mesures pour réduire son impact sur l'environnement. Toutes ces mesures seront d'un coût très élevé.

La gestion des lixiviats est d'une importance capitale pour la protection de l'environnement.

Plus le contrôle sur le remplissage sera sérieux, plus les couvertures journalières et définitives seront efficaces moins il y aura de lixiviat à traiter et de dangers pour les nappes d'eau potable et le sous-sol.

MISE EN PLACE DU SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DU BIOGAZ

Actuellement, dans un certain nombre de pays, on pratique des centres d'enfouissement technique à récupération d'énergie. Ces installations comportent des systèmes de collecte des eaux de percolation et du méthane, avec des systèmes de circulation uniforme au travers du centre d'enfouissement technique. Leur but est de stabiliser les déchets, d'obtenir du méthane, et de récupérer autant d'énergie que possible. Des systèmes avancés de cloisons étanches protègent la nappe phréatique.

Un centre d'enfouissement technique de déchets urbains solides produit des lixiviats et du biogaz en quantité non négligeable.

Sur certains sites, on utilise le biogaz comme source d'énergie soit électrique soit vapeur.

La production de biogaz peut être augmentée en réinjectant les lixiviats sur le site afin d'augmenter la fermentation. Ce système a également l'avantage de diminuer progressivement la toxicité des lixiviats.

Sur d'autres sites, l'énergie chaleur produite par le biogaz est utilisée pour l'évaporation de l'eau des lixiviats et diminuer ainsi les quantités à traiter par une station d'épuration ou à enfouir dans le site.

Pour toute réutilisation de biogaz, il faut un centre d'enfouissement technique d'une certaine importance.

Un CET mal construit et mal géré provoque des pollutions à court et long terme.

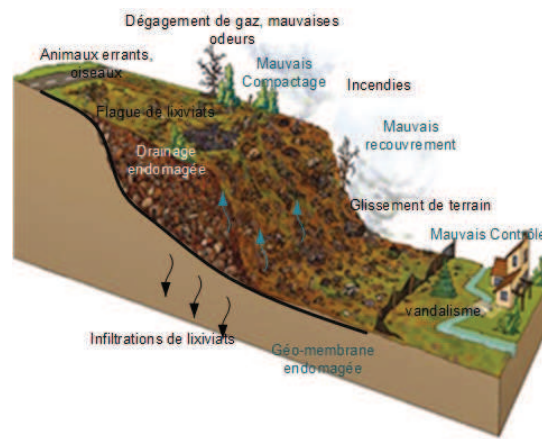


Figure 88: risque d'un CET mal exploité [source ADEME]

Le centre d'enfouissement technique, au fur et à mesure, de son remplissage doit être équipé d'événements permettant de capter le méthane pour l'amener à l'extérieur. Le système de soutirage du méthane doit être prévu dans les plans de construction des alvéoles et casiers. Un système de captage est indispensable pour éviter la migration souterraine des gaz vers l'extérieur du site. Il permet surtout de maîtriser les odeurs.

Dans des décharges anciennes qui n'ont pas été conçues avec des barrières étanches de fond, de flanc et de couverture, la solution consiste à mettre en place une couverture étanche et des puits de pompage pour créer à l'intérieur des déchets un gradient de pression et extraire ainsi le méthane.

Dans les CET plus importants, le méthane est valorisé, il sert de combustible de chauffage, où il alimente des chaudières pour produire de l'électricité.

RÉAMÉNAGEMENT FINAL

Couverture finale

La couverture finale a une importance capitale tant au niveau technique qu'au niveau visuel.

Au niveau technique :

- Elle permet de réduire au maximum l'infiltration d'eaux pluviales
- Elle permet de limiter au maximum les sorties intempestives de biogaz en dehors du système de captage.

Il convient donc d'utiliser des terres peu perméables, telles que l'argile, et de créer des pentes favorisant l'écoulement des eaux pluviales en dehors du site.

La couverture finale est posée sur le casier lorsqu'il atteint la hauteur prévue d'exploitation dans les plans.

Elle doit avoir au moins 2 mètres d'épaisseur, et être entretenue pendant 2 ans par apport successif de matériau pour compenser les tassements importants, avant la mise en place de la terre végétale et les plantations. L'aménagement final des pentes est important, et doit faire partie du plan d'origine de tout centre d'enfouissement technique. La pente idéale, permettant d'éviter à la fois l'érosion et la formation de flaques sur le dessus de la cellule, correspond à un rapport de 1 pour 3 au maximum et 1 pour 2 au minimum.

Au niveau visuel :

L'intégration dans le paysage d'un centre d'enfouissement technique doit être étudiée au moment de sa conception.

TERRE DE RECOUVREMENT

Le matériau de recouvrement utilisé peut être de différentes terres. Lorsque l'on effectue les opérations de terrassement pour préparer le site, on obtient généralement assez de matériau pour la couverture quotidienne. Si on trouve différents types de sous-sols, il est préférable de stocker les différentes terres à part.

On conservera la couche mère (*riche en matière organique*) pour la dernière couche de la couverture finale, pour permettre le développement végétal. Les terres peu perméables, telles que l'argile, sont à réserver pour être placées sous la couche finale. Les autres terres peuvent servir pour les couvertures quotidiennes et intermédiaires.

Les différents types de terre pour l'enfouissement quotidien ont chacun leurs avantages et inconvénients. Des terres peu perméables, telles que l'argile ou le limon, retardent la pénétration de l'eau et la percolation. Cependant, elles sont lourdes et rendent la circulation difficile par temps de pluie.

Les terres sableuses se travaillent plus facilement, mais offrent moins de résistance aux infiltrations.

L'exploitant du centre d'enfouissement technique doit délimiter des zones d'entreposage des terres de différents types mises en centre d'enfouissement technique : matériaux convenant pour les couvertures quotidiennes, intermédiaires, finales, ainsi que pour la construction des bermes et des routes à l'intérieur du centre d'enfouissement technique.

L'utilisation de ces matériaux évitera des achats à l'extérieur ainsi qu'un remplissage inutile de l'espace utile.

Sur certains sites, la terre de recouvrement permettant la remise en culture est rare et chère. On peut avoir recours aux boues de stations d'épuration, en les mélangeant à une terre de couverture pauvre en matières nutritionnelles. On obtient un mélange riche en matière organique et en nutriments, qui permet à la végétation de se développer. Un mélange trop riche en boue causerait des nuisances, il ne faut pas dépasser une part de boue organique séchée pour trois parts de terre. S'il s'agit de boues liquides, ne pas dépasser le point de liquéfaction de l'ensemble boue/terre, mais attention aux odeurs. Il est également possible d'utiliser du compost de déchets verts.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Un centre d'enfouissement technique mal géré est un danger pour l'environnement avec des conséquences à long terme mais aussi à court terme :

A court terme	Une mauvaise gestion journalière est une cause de mécontentement des populations environnantes
Bruits	
Odeurs	
Incendies	
Poussières	
A long terme	Une mauvaise gestion journalière est une cause de pollution de l'environnement.
Le sous-sol	
Les nappes d'eau	
Les cours d'eau	

PROTECTION DE LA NAPPE PHRÉATIQUE

La nappe phréatique, qu'elle soit superficielle ou profonde ainsi que les cours d'eau à proximité peuvent être pollués par les eaux en provenance du site.

Pour protéger cette eau, il faut gérer les eaux du site :

- L'eau de pluie
- Les lixiviats

Pour éviter des désagréments opérationnels et environnementaux, il faut empêcher la formation et la présence de mares à la surface du casier. Un drainage périphérique doit être prévu dès l'origine, pour évacuer les ruissellements ayant lieu sur les terrains limitrophes. L'exploitant du centre d'enfouissement technique est responsable de l'entretien de ces fosses ou conduits.

Les eaux de pluies tombant sur le casier peuvent être contrôlées par une gestion attentive : les cellules doivent être bien conçues, leur couverture, faite de matériau inerte, doit avoir une pente menant les eaux vers les fosses et les conduits. Il faut constamment empêcher les fosses de se remplir d'eau, et des mares ou des flaques persistantes de se constituer dans les zones déjà comblées du site.

Toutes les eaux de pluie tombant sur le site doivent être drainées vers un bassin de décantation où la terre sera séparée de l'eau avant que celle-ci ne soit rejetée dans le drainage périphérique. Le bassin doit être conçu par un ingénieur, d'une capacité suffisante pour toute l'eau pouvant ruisseler sur le site du centre d'enfouissement technique.

Les alvéoles en cours de remplissage doivent avoir une surface minimum et être fermées systématiquement surtout en période de pluie afin de minimiser au maximum les lixiviats.

GESTION DES LIXIVIATS

On peut réduire ou éliminer le lixiviat en empêchant les infiltrations d'eau de pluie. L'admission en centre d'enfouissement technique de déchets liquides est déconseillée, car elle contribue fortement à la formation du lixiviat.

Parce que le lixiviat est si polluant, il faut une bonne conception du site et un contrôle attentif des eaux pluviales pour éviter toute atteinte aux ressources hydriques.

L'étude du site doit prévoir la construction de drains de lixiviat et d'un bassin de retenue de celui-ci et des infiltrations d'eau à travers les déchets.

Le bassin restera souvent vide en l'absence de précipitations importantes causant la lixiviation ou les infiltrations. Mais dans les périodes de fortes pluies, les infiltrations atteindront le bassin. La construction de tels bassins est déconseillée en terrain très perméable, à cause des coefficients d'infiltration élevés.

Si le bassin n'a pas atteint la hauteur spécifiée dans les plans, on peut laisser son contenu s'évaporer ; mais lorsque le niveau maximum est presque atteint, l'exploitant doit intervenir pour vidanger le bassin et, soit répandre le contenu au niveau du casier (*recirculation*), si cela est conforme et faisable, soit l'évacuer vers une station d'épuration d'eaux usées, si celle-ci est habilitée à recevoir ces résidus. Dans tous les cas, si la présence de liquide dans le bassin cause des nuisances, telle la présence de moustiques, il faut vidanger immédiatement.

Si le lixiviat parvient jusqu'au fond du casier (*en dessous du drain*), il risque, sous l'effet de la pression, de s'infiltrer jusqu'à la nappe phréatique. Si tel est le cas, on peut être amené à percer des puits de lixiviat, afin de le récupérer avant qu'il n'atteigne la nappe phréatique.

CONTRÔLES DES BIOGAZ

La décomposition des déchets cause la formation de lixiviat et aussi de gaz de méthane, ainsi que d'autres gaz, dioxyde de carbone, sulfure d'hydrogène.

La différence essentielle entre le méthane et le lixiviat est que ce gaz est plus léger que l'air et qu'il remonte à travers les déchets et les couvertures poreuses pour s'échapper dans l'atmosphère.

Le méthane peut aussi, sous l'effet d'une forte pression due à une quantité importante, migrer à l'extérieur du casier, suivre une ligne géologique, ou une tranchée de réseau d'assainissement, et pénétrer dans des bâtiments ou des maisons aux alentours. Il y a eu de nombreux cas d'accidents causés par des explosions de méthane dans des bâtiments proches de CET mal exploités.

Le méthane peut être nuisible à la végétation du site ou dans les environs. Si l'on constate un dépérissement de la végétation, cela peut signifier qu'il y a du méthane dans la terre.

Le casier arrivé à remplissage complet doit être équipé d'évents permettant de capter le méthane pour l'amener à l'extérieur.

Le méthane circulant sous terre représente un réel danger. Il peut s'accumuler dans des bâtiments ou des installations souterraines, et asphyxier les personnes se trouvant dans ces lieux. Il peut aussi provoquer une explosion. Pour surveiller la présence et la migration du méthane, on place des sondes à une profondeur allant de 2 à 5 mètres. La surveillance doit être conçue et effectuée par des spécialistes si plus de 5% de méthane a été détecté. Les pompiers sont en principe formés à la maîtrise des produits explosifs. Il est préférable de faire appel à eux si l'on suspecte la présence de méthane dans un bâtiment.

Une migration soudaine du méthane a souvent lieu lorsqu'il pleut abondamment et que le baromètre chute. Dans de telles conditions, il faut vérifier plus fréquemment les sondes de surveillance. Il arrive parfois que des centres d'enfouissement techniques ne révèlent aucune présence de gaz par beau temps, puis des explosions se produisent. Les enquêtes ont conclu qu'un changement des conditions météorologiques avait provoqué la migration du méthane.

CONTRÔLE DES POUSSIÈRES, PAPIERS, ENVOLS DIVERS

La circulation des camions, bennes et engins de chantier sur le site de centre d'enfouissement technique soulève constamment de la poussière qui reste suspendue dans l'air. En période estivale sèche, et quelquefois à d'autres moments de l'année aussi, cette présence de poussière peut poser de graves problèmes, et un programme de lutte est indispensable. La poussière provoque une usure excessive du matériel ; porte atteinte à la santé du personnel travaillant sur le site, cause des nuisances pour les riverains, elle est la cause de certains accidents, provoque des allergies et enfin, provoque le mécontentement du public.

La méthode de lutte la plus courante est l'arrosage des voies de circulation dès que cela devient nécessaire. L'arrosage ne doit pas être abondant au point de provoquer des problèmes de boue, mais il doit être suffisant pour éviter la pollution atmosphérique au-dessus et autour du site.

Il existe une autre méthode, qui est de répandre du chlorure de calcium sur les voies, appliqué en solution, ou sous forme de poudre ou de granulés. Il a la propriété d'absorber l'humidité ambiante, et de durcir la chaussée, donc de réduire le niveau de poussière.

La boue est un problème difficile à maîtriser dans un site de centre d'enfouissement technique. En période pluvieuse, le passage répété des camions malaxe l'eau, les déchets et la terre pour former une boue profonde. On peut améliorer cette situation en surélevant la chaussée par rapport au niveau environnant, de sorte que les détritiques aient moins tendance à s'y répandre, et que l'eau ruisselle sur les côtés.

La pluie est gênante pour le bon fonctionnement du centre d'enfouissement technique, c'est une évidence. Cependant, la fonction du responsable du site est d'assurer l'accès au casier à tout moment.

Parmi les moyens mis à sa disposition, outre la surélévation, il peut recourir au renforcement de la chaussée à l'aide de graviers ou de gravats.

Quelquefois, on emploie aussi les mâchefers répandus sur la voie, qui forment une couche de revêtement qui ne dure pas très longtemps et qui a l'inconvénient de créer de la poussière par temps sec.

Même sur un CET très bien géré, les déchets restent la source majeure des problèmes, et constituent la première source de mécontentement des riverains. Il s'agit surtout des envols de papiers et d'emballages plastique lors du déchargement, et qui, portés par le vent, se déposent partout sur le site et aux alentours, jusque dans les arbres. Le risque d'envols se produit aussi en route, lorsque les camions ne sont pas bâchés ou sont mal fermés.

Une bonne mesure à prendre est d'obliger les usagers du centre d'enfouissement technique à bâcher leurs camions, en imposant des droits d'accès plus élevés aux camions ouverts.

Les déchets se dispersent moins lorsque l'accès au casier est limité et restreint et que l'on respecte bien la pratique quotidienne de la couche de couverture. Mais on ne peut pas l'éviter totalement, et l'exploitant du site doit veiller à ce que tous les déchets et les envols soient ramassés quotidiennement, y compris ceux qui sont accrochés dans les clôtures.

Par temps venteux, différentes mesures sont recommandées :

- Choisir une bande de déchargement réservé, plus abrité, par exemple, une zone plus basse ; remonter les déchets en pente ; bien compacter et appliquer une couche de couverture aussitôt après un déchargement.

Enfin, on peut aussi mettre en œuvre des grillages fixes ou mobiles installés autour de la zone de travail.

CONTRÔLE DES BRUITS ET ODEURS

Les nuisances sont aussi un sujet de plaintes fréquentes des riverains du site de centre d'enfouissement technique. Or à la fois le bruit et les odeurs peuvent être maîtrisés grâce à une bonne gestion et un bon entretien du matériel.

Le bruit causé par les engins de chantier et les camions peut être atténué de différentes manières ; tout d'abord, par la présence d'arbres et de haies, qu'il faut planter sur le périmètre aussitôt choisi l'implantation du site (*écran végétal*)

Le remplissage du casier : on peut constituer une butte de déchets y inclus sa couverture en terre entre la zone active et les habitations proches du site. On peut aussi utiliser la terre stockée pour former une digue qui sépare les riverains de la zone de travail. Cette digue peut être incorporée dans le plan du site, et servir de limite.

Le bruit émis par les engins sera moindre si le matériel est bien entretenu, et s'il est équipé de silencieux et de tuyaux d'échappement en bon état.

L'émission d'odeurs est due :

- D'une part aux "**ordures fraîches**"
- D'autre part à la fermentation des déchets

Le recouvrement périodique et systématique des déchets à l'aide des produits non évolutifs (*gravats, terres diverses*) permet de limiter les nuisances olfactives et détecter les fissures qui se créent dans la couche de couverture par séchage.

Lorsque l'on constate des odeurs désagréables, c'est que l'opération de recouvrement a été mal faite, et il y a production de lixiviats et de biogaz. Il faut, d'une part, bien déposer la couche de couverture, et d'autre part, surveiller toutes les couvertures du site pour détecter les érosions de la couverture, qui mettent les déchets à nu. Il faut pratiquer une inspection d'érosion hebdomadaire, et augmenter la fréquence par temps de pluie.

LUTTE CONTRE LES ANIMAUX

Les animaux peuvent causer beaucoup d'inconvénients pour les riverains habitant à proximité, et constituer un problème de santé publique, si une lutte efficace n'est pas menée. Les mouches et les moustiques sont les deux vecteurs les plus problématiques, parce qu'ils sont porteurs de maladies, et qu'ils sont gênants. Les mouches sont des vecteurs de maladies alimentaires telle la salmonelle, en transportant les bactéries aux aliments.

Les moustiques se reproduisent dans l'eau stagnante, dans des mares ou des creux qui se forment dans les déchets s'ils ne sont pas bien compactés et recouverts.

Les moustiques sont porteurs de maladies telles que l'encéphalite et le paludisme. La lutte passe par le compactage et le recouvrement, ainsi que l'élimination systématique de toute poche où l'eau peut stagner et offrir un lieu de ponte aux moustiques.

Les rats et autres rongeurs répandent des maladies telles que la rage, le typhus et la peste. Les rongeurs pénètrent dans le site soit par un chargement de déchets arrivants, soit en migrant des terrains voisins. Ils y restent s'ils trouvent de la nourriture, de l'eau, des abris.

Un bon compactage, ainsi qu'une couverture quotidienne permettront l'atténuation des risques. En cas d'observation persistante de rongeurs sur le site, l'exploitant doit organiser une opération de dératisation par un professionnel. Dans ce cas, le responsable du site doit absolument placer des panneaux d'avertissement, à l'intention des agents et de toutes les personnes habilitées à entrer sur le site.

PRÉVENTION INCENDIE

Quand un incendie se déclare sur un site, il est très difficile à éteindre à cause de l'absence d'eau. Un feu peut commencer par un papier qui touche un pot d'échappement brûlant, ou par des braises dans des cendres ou des mâchefers, ou par l'acte d'un chiffonnier. Il y a donc interdiction absolue de brûler quoi ce soit, y inclus de fumer. Quoi que ce soit, le risque d'incendie peut être avec la séparation des types de déchets en zone (*pneus à part par exemple*).

Le compactage et couverture sont le meilleur moyen d'éviter les incendies ; voici encore une raison supplémentaire d'effectuer consciencieusement ces deux opérations.

Les agents du site doivent toujours être attentifs aux débuts d'incendie. Si cet incident survient, ils doivent réagir très vite pour éteindre le feu, en répandant soit de la terre, soit de l'eau. La terre est plus efficace. S'ils n'arrivent pas à maîtriser l'incendie, ils doivent appeler les pompiers à leur secours.

La communication par téléphonie est essentielle à la bonne exploitation du centre d'enfouissement technique, et il est impératif de pouvoir contacter les pompiers en cas d'incendie.

Dans un CET bien organisé, une personne doit être chargée de la gestion environnementale.

Cette personne doit avoir les capacités d'organiser un personnel capable de gérer :

- Les lixiviats
- Les eaux pluviales
- Les odeurs
- Le biogaz
- Les envols
- Les nuisibles
- Les rejets dans le milieu naturel
- La lutte contre les incendies
- Les équipements de traitement (*eaux, biogaz, etc.*)

LE MATÉRIEL

Un site de centre d'enfouissement technique correctement géré dispose de tout le matériel nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des opérations dans le respect de l'environnement.

Les dépenses pour l'acquisition du matériel sont des dépenses d'investissement qui pèsent lourd dans le budget du site. Il faut donc bien choisir le matériel, en évaluant soigneusement les fonctions qu'il doit remplir et en assurer un entretien efficace.

MANUTENTION DES DÉCHETS

On pourrait estimer que la manutention des déchets sur un site revient à un travail de terrassement, mais en fait, il existe des différences importantes : les déchets solides sont moins denses que la terre, plus compacts et plus hétérogènes. La manutention d'un volume de déchets nécessite moins d'énergie que celle du même volume de terre.

COMPACTAGE

Le compactage est un travail primordial sur tous CET. Il peut être réalisé par un bulldozer à chenilles, un compacteur à déchets à rouleau d'acier, un tractopelle sur pneus, ou un tractopelle chenillé. Le compactage doit être effectué le plus efficacement possible pour réduire le volume des déchets au maximum. L'engin doit d'abord étaler les déchets en couches fines. Puis il doit passer au moins trois fois sur toute la surface traitée. Les déchets ont un meilleur coefficient de compactage (*rapport entre le volume avant et après compactage*) que la terre. En revanche, leur compactage est plus difficile à réaliser. Il faut une force de compression plus importante, et un plus grand nombre de passages. Un engin puissant et lourd est préférable à un engin plus léger qui devra repasser un grand nombre de fois pour arriver au même résultat.

Les déchets déversés au front de travail doivent être étalés et compactés par un engin dès leur arrivée, pour réduire l'éparpillement des détritiques tout en maintenant un bon état des lieux.



Image 32: Compacteur à déchets

MANUTENTION DU MATÉRIAU DE COUVERTURE

Le matériau de couverture est déplacé à l'aide d'un tractopelle, qui assure aussi la manutention des déchets, comme indiqué ci-dessus. Il prend la terre dans sa pelle et l'apporte au site de travail du jour pour la déposer par-dessus les déchets. Puis, il l'étale et la compacte.

Il est essentiel que l'équipe d'entretien du site ait à sa disposition le matériel suffisant pour accomplir ce travail tous les jours.

FONCTION D'ENTRETIEN

Outre les engins de manutention des déchets et des matériaux de couverture, le site doit disposer aussi du matériel nécessaire pour différentes fonctions d'entretien ou de réparation : construction et entretien des voies de circulation, lutte contre la poussière, l'incendie, gestion du site.

Le matériel décrit plus haut peut couvrir la plupart de ces fonctions, mais d'autres matériels spécifiques peuvent s'avérer nécessaires.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

En fonction des besoins décrits plus haut, voici une liste de matériel minimum nécessaire dans une décharge.

- Compacteur à rouleau d'acier, pour le compactage des déchets et du matériau de couverture
- Bulldozer chenillé D6 ou D7 (*si le compacteur ne possède pas une lame d'épandage adéquate*), pour l'extraction, l'épandage et le compactage de la terre de couverture, ainsi que pour la construction de routes. Il peut servir de remplacement ou de renfort au compacteur en cas de besoin.
- Tractopelle sur roues pour déplacer la terre de couverture, charger et décharger les déchets, mettre les matériaux en tas, construire les routes et nettoyer le site.
- Système de communication par radio, pour la liaison entre le bureau et les différents points d'activité, sur un site d'une certaine importance

Le minimum absolu sur un site serait un tractopelle sur roues. Cet engin ne permet pas un aussi bon compactage qu'un bulldozer à chenilles ou un compacteur à rouleau d'acier, mais il correspond aux besoins plus modestes d'un petit site. Au-delà d'une certaine capacité, le site doit avoir un bulldozer à chenilles pour déplacer les déchets au front de travail, les compacter, et mettre en place les terres de couverture qui lui sont apportées.

ENTRETIEN DU MATÉRIEL DE SÉCURITÉ

L'exploitant du site est responsable de l'entretien du matériel. Il doit établir un programme d'entretien écrit, en suivant les recommandations du constructeur. L'entretien de routine comprend la vidange, la lubrification, le nettoyage des filtres, etc. Un carnet d'entretien doit être tenu à jour pour chaque matériel.

L'exploitant doit aussi veiller à ce que tous les matériels soient utilisés dans le respect des règles de sécurité.

Le tableau suivant présente une liste de recommandations utiles pour la sécurité du personnel.

Règles de sécurité pour l'utilisation des engins du centre d'enfouissement technique

- Ne vous mettez pas en travers de la pente
- N'écrasez pas les contenants fermés
- Passez lentement sur les gros objets
- Inspectez votre site de travail
- Garez-vous sur terrain plat
- Abaissez la pelle ou la lame à l'arrêt
- Ne sautez jamais de l'engin
- Ne laissez pas l'engin sans surveillance
- Ayez un bon éclairage
- Nettoyez le matériel avant une réparation
- Restez sur votre siège pendant les réglages
- Maintenez la pelle, la benne ou la lame en position basse
- Ne frôlez pas les obstacles
- Portez votre ceinture de sécurité
- Ne montez jamais en marche

LES MOYENS HUMAINS

Le personnel et l'administration

Pour le site fonctionne correctement, il est nécessaire de recruter un personnel qualifié et responsable, ayant reçu une formation adéquate.

Description des postes

Les critères d'embauche varient selon la taille du CET et leurs heures d'ouverture. En général, le personnel comprend :

Un chef d'exploitation directeur du site: il est responsable de toutes les activités ayant lieu sur le CET ; du choix du personnel, de la comptabilité, de leur performance et de leur évaluation. Il doit avoir un certificat de connaissance des règles de sécurité, délivré par les autorités de tutelle, l'habilitant à former, à son tour, son personnel. Il doit aussi avoir une très bonne connaissance des règlements en vigueur au sujet du fonctionnement d'un CET. Il doit connaître la nature des déchets admis, les exigences quant à la protection de l'environnement, et le matériel connexe. De plus, il doit être capable d'assurer des sessions périodiques de formation de son personnel.

Un responsable de l'environnement: il est responsable de toutes les actions de protection de l'environnement et des opérations de communication.

Des chefs d'équipe: ils supervisent toutes les opérations sur site. Ils veillent à l'entretien des machines, et leur responsabilité principale est de s'assurer que toutes les livraisons, les problèmes rencontrés sont bien enregistrés chaque jour. Ils établissent un rapport remis au chef exploitant. Il y a un chef (*d'équipe*) par équipe de travail posté.

Des conducteurs d'engin (*qualifiés*): agents qui conduisent des engins de chantier et qui en assurent la maintenance ainsi que d'autres engins.

Des agents non spécialisés: agents qui exécutent les instructions reçues par le chef exploitant et/ou par le chef d'équipe et accomplissent toutes les tâches nécessaires au fonctionnement et l'entretien de la décharge.

Des agents supplémentaires: agents qui exécutent des diverses tâches selon la taille, le modèle de fonctionnement, l'équipement, le niveau de technicité, de la décharge. Par exemple, ils peuvent trier en aval (*après déversement*), inspecter ou mettre en paquets des déchets ramassés de manière sélective.

Il faut au minimum un chef exploitant, un conducteur d'engin qualifié et un agent non qualifié pour assurer le bon fonctionnement d'une décharge municipale.

Aptitude physique du personnel ; restrictions

Seuls les agents qualifiés et en bonne condition physique peuvent travailler avec le matériel et les machines. L'exploitant doit s'assurer que le personnel a passé la visite médicale d'embauche et que la visite est renouvelée régulièrement, conformément à la législation du travail.

FORMATION

Tout le personnel doit recevoir une formation concernant le fonctionnement général du site et les tâches spécifiques correspondant à leur poste. Leur formation doit aussi traiter des caractéristiques environnementales et physiques générales du travail en centre d'enfouissement technique. De même, ils doivent être informés sur les conséquences que la manipulation de déchets solides peut avoir sur leur santé. Tous les employés doivent apprendre à reconnaître les différents types de déchets et leur traitement spécifique et être prévenus du risque que représente le traitement des déchets dangereux et médicaux pour la santé.

FORMATION INITIALE ET CONTINUE

L'exploitant doit concevoir sa structure organisationnelle de manière à ce que ses effectifs en personnel soient toujours suffisants et que ce personnel dispose des qualifications et de l'expérience nécessaire à la réalisation des différentes tâches qui lui incombent ; les responsables de la conduite des opérations participent au moins tous les deux ans à des stages de formation continue reconnue par l'autorité ou l'administration compétente et que son personnel dispose toujours des connaissances actuelles nécessaires pour la réalisation des activités d'exploitation (*formation continue adéquate*).

Les stages de formation continue du personnel dirigeant doivent au moins concerner les domaines énumérés ci-après.

- Législation en matière de déchets et dispositions relatives à la protection de l'environnement dans le cadre de l'exercice d'activité ayant trait à la gestion des déchets ;
- Construction, exploitation, fermeture et post-exploitation des CET ;
- Impacts sur l'environnement, risques, dangers et autres nuisances émanant des sites, mesures à prévoir pour les éviter ou les éliminer ;
- Type et propriétés, comportement et réactions possibles des déchets ;
- Législation relative aux substances dangereuses ;
- Législation relative à la responsabilité professionnelle ;

- Hygiène et Sécurité au travail.

ADMINISTRATION

Le bon fonctionnement passe par une gestion attentive et responsable. Les activités administratives comprennent les tâches quotidiennes, la comptabilité, l'évaluation de performance, la gestion du personnel et les relations publiques.

COMPTABILITÉ ET CONTRÔLE DES DÉPENSES

L'exploitant est responsable de la comptabilité, toutes les dépenses devant apparaître, main-d'œuvre, fournitures, et entretien. Des états mensuels et annuels doivent être soumis à l'approbation des autorités de tutelle.

Pour calculer le coût de revient unitaire du fonctionnement du site, on se base sur le coût annuel, et on le divise par le nombre de mètres cubes de déchets traités en une année. Pour cela, il faut connaître la quantité de déchets reçus annuellement, donc être équipé d'un pont-basculé. Ce nombre, multiplié par le tarif au mètre cube, permet de savoir si les recettes correspondent aux frais de fonctionnement.

Si le barème tarifaire est bien conçu, le site doit pouvoir couvrir ses frais de fonctionnement. Il est préférable d'aller un peu plus loin, et d'avoir des recettes avec une petite marge pour alimenter le budget spécial pour les coûts de la clôture finale et sa remise en culture, lorsque le moment sera venu, ainsi que l'ouverture d'un nouveau site.

Des registres de déchets reçus et une comptabilité précises sont utiles également lorsque le site possède une fonction suprarégionale (*inter-Wilaya*). Dans ce cas, le centre d'enfouissement technique peut prélever une redevance supplémentaire, parfois appelé « **redevance d'impact** » aux résidents des autres communes d'autres wilayas, permettant d'indemniser la municipalité qui a accepté sur son territoire le site.

ÉVALUATION DE PERFORMANCE

L'exploitant du CET doit effectuer une évaluation de la performance de toutes les opérations du site au moins deux fois par an, pour s'assurer qu'elles se déroulent conformément au cahier des charges, et identifier les domaines, où les types de déchets, où des modifications s'avèrent nécessaires pour des raisons de performances ou d'économie.

PERSONNEL

Les responsables doivent établir des procédures d'évaluation du personnel, concernant la performance, l'avancement, les avertissements ou le licenciement en cas de faute ou de mauvaise performance.

RELATIONS AVEC LA POPULATION

Les responsables des CET doivent veiller à entretenir de bonnes relations avec le public, en particulier les riverains. Voici une liste d'activités suggérées pour maintenir de bonnes relations :

- Maintenir le CET aussi propre que possible
- Collecter les détritiques le long des routes autour du CET
- Répondre rapidement aux plaintes, qu'elles soient reçues par l'exploitant, un des agents ou les responsables municipaux en gardant une preuve écrite de ces plaintes et des réponses
- Diffuser régulièrement de l'information dans le voisinage, sous forme de bulletins, articles dans la presse, réunions publiques (*journées portes ouvertes*).
- Informer régulièrement les responsables des municipalités environnantes sur les activités du CET. Leur rendre compte des problèmes, des projets, des besoins, des opérations réussies
- Fournir ces bilans également aux gros clients, pour obtenir leur soutien
- Faire des visites guidées pour les élus de la région, les organisations civiques, les écoles, les organisations nouvelles, etc., pour leur permettre de mieux comprendre le fonctionnement d'un CET
- Annoncer à l'avance tout changement dans le fonctionnement du CET et le justifier. Permettre aux habitants de donner leur avis avant que la décision ne soit finale.
- Choisir à l'avance le responsable qui communiquera avec la presse en cas d'accident ou de crise. Celui-ci devra répondre de manière factuelle, ou si ceci n'est pas possible, indiquer quand l'information sera

disponible. Il doit disposer d'un document résumant le fonctionnement du CET à distribuer en cas de besoin.

Le but de toutes ces mesures est de favoriser le dialogue entre le personnel du CET et la population. Ainsi, si des problèmes surviennent, les gens comprendront mieux les difficultés et seront plus enclins à appuyer les solutions proposées.

MANUEL D'EXPLOITATION

Le manuel d'exploitation peut être élaboré au cours de la phase d'études et doit être de préférence présenté pour accord sous la forme d'un avant-projet au moment de la demande d'autorisation du projet. Ensuite, il convient de le vérifier et de l'actualiser avant la mise en service du site d'enfouissement.

L'exploitant doit tenir le manuel d'exploitation à jour en décrivant en particulier les installations utilisées, le déroulement des opérations d'exploitation (*Procédures opérationnelles*) ainsi que les responsabilités assumées par le personnel d'exploitation.

En termes de contenu, les procédures doivent comprendre:

- Les mesures à prévoir en exploitation normale, pour l'entretien du site, en cas de défaillances et pour la sécurité de l'exploitation ;
- La description des mesures à prévoir en cas d'urgence (*accidents, incendies etc.*);
- L'organigramme des responsabilités des différents services de l'exploitation ;
- Les tâches et les secteurs de responsabilité du personnel ;
- La description des postes de travail et les consignes de travail ;
- Les mesures de contrôle et de maintenance à prévoir
- Les obligations en matière d'informations, d'élaboration de rapports et d'archivage.

Documents et pièces	Période
Manuel d'exploitation	Avant délivrance de l'autorisation
Plan d'exploitation	Avant délivrance de l'autorisation
Règlement interne	Avant mise en service
Journal d'exploitation	Avant mise en service
Rapport annuel	Tous les ans tant que la décharge est exploitée ainsi que durant toute la phase de maintenance après sa fermeture

JOURNAL D'EXPLOITATION

L'exploitant est tenu de mettre régulièrement à jour son journal d'exploitation

Le journal d'exploitation doit contenir les enregistrements suivants pour chaque livraison de déchets effectuée:

- Cadastre des déchets
- Masse, code déchet et désignation des déchets
- Nom et signature du contrôleur ayant vérifié la conformité des déchets
- Date et heure du déchargement des déchets
- Nom et l'adresse du ou des transporteurs des déchets
- Numéro d'immatriculation des véhicules ayant servi au transport des déchets
- Lieu de d'enfouissement (*plan d'inventaire avec indication du n° du casier/de l'alvéole*),
- Type de mise d'enfouissement
- Date de l'enfouissement
- Caractéristiques essentielles des déchets livrés (*certificat d'acceptation*),

Contrôles effectués à l'entrée du site avec indication des mesures prises en cas de divergences avec le manifeste des déchets, indication du type, de la quantité et de l'origine des déchets refusés.

Tout évènement inhabituel, et en particulier tout dysfonctionnement ou problèmes d'exploitation, ainsi que leurs origines possibles et les mesures effectuées pour y remédier.

RAPPORT ANNUEL

Un rapport contenant toutes les informations essentielles et les procès-verbaux rédigés au cours de l'année d'exploitation doit être rédigé tous les ans.

Ce rapport annuel compile toutes les données obtenues à l'issue des programmes de mesures et de contrôle et il les analyse. Par ailleurs, il comprend une description de tous les travaux effectués (*extension, fermeture d'un casier/d'une alvéole, réparation de bassin ou du système de drainage etc.*) ainsi que les mesures prévues pour l'année suivante.

- Table des matières
- Propriétaire et exploitant ;
- Données du site ;
- Autorités compétentes ;
- Autorisations et avis des autorités ;
- Équipement (*assainissement, dégazage, infrastructures*) ;
- Clôture autour du site.
- Données sur les déchets (*type et quantité*)
- Enfouissement
- Capacité restante en termes de volume ;
- Étanchéité à la base ;
- Système de drainage des lixiviats, regards ;
- Volume et qualité des lixiviats ;
- Équipements de dégazage ;
- Volume et qualité des biogaz produits ;
- Couverture et étanchéité en surface ;
- Tassements et stabilité ;
- Température à la base du casier / dans les puits de gaz.
- Qualité des eaux de surface et des eaux souterraines ;
- Émissions et nuisances (*olfactives, bruits, présence d'animaux nuisibles, etc.*) ;
- Évènement inhabituels (*incendies, etc.*) ;

Mesures prévues au cours de l'année suivante ;

Consommation énergétique annuelle (*électricité etc.*).

PROGRAMME DE MESURES ET DE CONTRÔLE

Avant mise en service

L'exploitant est tenu de réaliser les mesures suivantes avant toute mise en service de la décharge.

- Des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux souterraines et des eaux de surface
- Pour les eaux souterraines,

Après la mise en service

L'exploitant doit effectuer un programme strict de mesures et de contrôles

Les résultats des analyses des eaux souterraines et de surface ainsi que ceux des analyses de l'air doivent être conservés pour une durée de 3 ans au moins.

MESURES D'HYGIÈNE ET DE SÉCURITÉ

Les règles suivantes sont à respecter

Le site doit être entouré d'une clôture (*hauteur minimale de 2 m*) et disposer de portails afin de limiter et de contrôler l'accès,

Si du biogaz est produit, un système de dégazage doit être prévu pour évacuer les biogaz en satisfaisant aux conditions minimales de sécurité du site,

Les bâtiments et tous les locaux d'exploitation doivent être construits conformément à la législation en matière d'hygiène et de sécurité au travail.

La circulation sur le site doit s'effectuer en toute sécurité. Les voies de desserte et les aires d'exploitation doivent disposer d'un revêtement durable et leur propreté doit être assurée. Le site et ses abords doivent être nettoyés et maintenus dans un état de propreté.

FERMETURE ET POST- EXPLOITATION

Fermeture

Dans la mesure du possible, il est recommandé de proposer et de fixer dès le départ, c'est-à-dire dès la demande d'autorisation d'exploitation du site d'enfouissement prévu, les modalités de fermeture du site. La fermeture est elle aussi soumise à déclaration. Avant de procéder à la fermeture définitive du site ou de l'un de ses casiers, l'exploitant est en effet tenu d'adresser une demande correspondante à l'autorité compétente. La demande doit présenter.

- Le plan de masse de l'état final ;
- Les mesures qui seront mises en œuvre pour assurer la phase de post-exploitation afin d'empêcher toute pollution de l'environnement (*eau, sol, air*).

Au cours de la phase de fermeture, l'exploitant est tenu de réaliser sans délai toutes les mesures nécessaires pour la réalisation du système d'étanchéité de surface.

Les systèmes d'étanchéité de surface typiques habituellement mis en œuvre sont décrits dans le chapitre conception

PHASE DE MAINTENANCE POST-EXPLOITATION

Afin d'éviter la pollution de l'environnement (*eau, sol et air*) et l'émission de nuisances après fermeture, l'exploitant est tenu de procéder en particulier à des mesures de contrôle et de suivi, tout au long de la phase post- exploitation.

Ces mesures doivent se poursuivre tant que l'autorité compétente le juge utile et jusqu'à ce qu'elle l'en dispense.

Sur demande de l'exploitant et après avoir contrôlé les critères permettant d'établir la fin de la phase de post-exploitation, l'autorité compétente lèvera l'obligation de cette phase post-exploitation et établira une réception finale du site.

Les critères permettant d'établir la fin de la phase de post-exploitation sont les suivants:

- Réduction des tassements constatés à un niveau tel que tout effet défavorable sur le système d'étanchéité de surface puisse être exclu à l'avenir;
- Fonctionnalité et stabilité satisfaisantes du système d'étanchéité de surface
- Stabilité durable du corps de la décharge dans son ensemble ;

L'entretien des ouvrages et des équipements techniques n'est plus nécessaire, le cas échéant, leur démontage est à effectuer.

SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Kocks Consult GmbH
- [2] Agence Nationale des Déchets, 2014, Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-arides et arides d'Algérie
- [3] Dipl.-ing. Gerd Burkhard, M-E Pelagie Ball, ICP, 2014, Planification, construction et exploitation d'une décharge contrôlée, Code des bonnes pratiques
- [4] Fränkische système de drainage, -, Valeurs essentiels pour un calcul sur la base de la DWA-A 138
- [5] Nave, prospectus des géo-synthétiques
- [6] Dipl.-Ing Chakir Kasdarli, 1999, instruction technique pour le traitement adapté des lixiviats de décharges dans les pays en voie de développement et les pays nouvellement industrialisés à l'exemple de l'Algérie
- [7] Geoplan, 2006, Analyses des lixiviats de diverses décharges en Algérie et proposition de mesures de traitement
- [8] Université Polytechnique d'Aix-la Chapelle 1999, Manuel des procédés de construction, volume 1
- [9] Université Polytechnique d'Aix-la Chapelle 1999, Manuel des procédés de construction, volume 2
- [10] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2005, Guide PROGDEM
- [11] Comité français des géosynthétiques, 2017, Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géo-membrane
- [12] Geoplan, 2015, Standsicherheitsnachweis Deponie Maliq, Albanien (*calcul de stabilité*) du CET de Maliq en Albanie pour le compte de la Kocks Consult GmbH.

LIENS UTILES

Agence Nationale des Déchets : www.and.dz

Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ : www.giz.de

Agence française de l'environnement et de la maîtrise d'énergie: www.ademe.fr

Comité français des géo-synthétiques : <http://www.cfg.asso.fr/>

Logiciel HELP (*en anglais uniquement*) : <https://www.epa.gov/land-research/hydrologic-evaluation-landfill-performance-help-model>

Logiciels (*divers*) de dimensionnement des CET (*en anglais uniquement*) : <http://www.landfilldesign.com/design/presentations/index.html>

Logiciel de modélisation des biogaz de CET (*en anglais uniquement*) LandGEM: <https://www.epa.gov/land-research/models-tools-and-databases-land-and-waste-management-research>.

PARTIE V
ANNEXE

ANNEXE

Checklist pour l'élaboration d'une étude de réalisation d'un CET de classe II

Désignation	Echelle
Etudes préliminaires et choix du site	
Définition du périmètre du projet/de l'étude ?	-
Carte topographique (<i>carte d'état-major</i>)	1:50.000
Carte topographique (<i>carte d'état-major</i>)	1.25.000
Carte géologique	
Carte pédologique	
Cartes hydrologique (<i>bassin versant, barrage, retenue collinaire, cours d'eau</i>)	
Cartes hydrogéologiques (<i>nappes phréatiques, puits</i>)	
Schéma(s) directeur de ou des zones du périmètre du projet	-
Données climatiques	
Pluviométrie (<i>mm/mois</i>)	-
Température (<i>°C/mois</i>)	-
Evaporation (<i>mm/mois</i>)	-
Site imposé par le maître de l'ouvrage ?	
Calcul de la durée de vie du site	
Calcul de la surface du casier	
Estimation des surfaces annexes (<i>servitudes, voiries, infrastructure</i>)	
Analyse multicritère effectuée	
Etudes préliminaires	
Levé topographique	
Maillage 25 x 25 m	
Autres maillages	
Détails (<i>points de rupture, cours d'eau, arbres, puits, etc.</i>)	
Etude géotechnique	
Fouille à la pelle	
Sondage carotté	
Analyse au laboratoire	
Granulométrie	
Perméabilité kf	
Limite Atterberg	
Plasticité	
Cisaillement	

[illegible]

Désignation	Echelle
Etude hydrogéologique	
Autres études	
Avant-projet sommaire	
Conception(s) générale(s) du ou des casiers	
Talus 1 :3 maximum 1 :2,5 (1 :2 trop pentu uniquement en situation extrême)	
Sens de l'écoulement des eaux	
Pente minimale pour les drains de lixiviats > 1,5 % (longitudinale)	
Pente minimale transversale en direction des drains de lixiviats de 3 %	
Distance entre les drains < 50 m	
Chaque drain a 1 regard de contrôle à sa sortie	
Drains/hydrauliquement indépendant (possibilité de by-pass et de fermeture)	
Etanchéité de base (du bas vers le haut)	
Barrière artificielle en argile min 1 m	
Géomembrane min. 2,0 mm	
Géotextile de protection min 1.000 g/m ²	
Couche de drainage en gravier non calcaireux 16/32 ou 10/40	
Etanchéité au niveau du talus	
Barrière artificielle en argile min 1 m	
Géo-membrane min. 2,0 mm	
Géo-textile de protection min 1.000 g/m ²	
Couche de drainage en gravier non calcaireux 16/32 ou 10/40 (pour des talus 1 :3 ou plus plats)	
Géodrain à la place de la couche de drainage pour des talus 1 :3 ou plus pentu	
Document graphique (APS)	
Plan de situation du site	1 :50.000
Plan de situation du site	1 :25.000
Plan de masse du site	1 :1000
Min 3 coupes verticales du casier	1 : 500 OU 1 :200 OU 1.100
Min. 1 coupe longitudinale	
Min. 1 coupe longitudinale	
Plans des aménagements extérieurs (y compris bâtiments, voiries, bassins et clôture)	1 :500
Pour les Bâtiments	
Plans des niveaux	1 :200
Plans des façades	1 :200
Détails significatifs : étanchéité de base par exemple	au 1 :100
Croquis et schémas techniques	

[illegible]

Désignation	Echelle
Notice descriptive	
Architecturale et d'insertion dans le site	
Notice technique concernant les lots architecturaux (<i>nature des prestations</i>)	
Notice technique concernant les lots techniques (<i>choix généraux et performances visées</i>)	
Calendrier de réalisation et éventuellement découpage en tranches fonctionnelles	
Estimation provisoire du coût prévisionnel des travaux	
Etude d'impact	
Etude de danger	
Avant-Projet Détaillé	
Note de calcul	
Bâtiments	
Calcul de structures (<i>fondations, poutres, coffrages.</i>)	
Calcul de structures pour les regards en béton	
Infrastructures, VRD	
Calcul hydraulique	
Dimensionnement des conduites d'AEP et d'assainissement	
Casiers	
Calcul de stabilité des digues/géotechniques	
Calcul de structures de conduites de drainage	
Dimensionnement géo-membrane/géotextile	
Collecte et traitement des lixiviats	
Dimensionnement conduite	
Dimensionnement pompes	
Calcul de stabilité des bassins tampons	
Documents graphiques	
Plan de situation(s)	1:50.000 - 1:25.000
Plan de masse y compris	1:1000
• Localisation exacte des bâtiments (<i>y inclus pont bascule, bassin tampons, station de lavages des roues, station de pompage etc.</i>)	
• Détails de la voirie (station tous les 25 m, pente des voiries, radiant des tournant)	
• Localisation exacte des regards de drainage	
• Conduites de drainage (<i>y inclus diamètre extérieur, type (perforé/pleine), PN, pente longitudinale</i>)	
• Pente transversale vers les conduites de drainage	
• Coordonnées z des points bas de talus (au niveau du drain, et à certain points important (<i>coin</i>), etc.	
• Surface du/des casier(s)	

[illegible]

Désignation	Echelle
• Surface des bassins de lixiviats	
• Désignation des coupes longitudinales	
• Désignation des coupes verticales	
Casier	
min 3 Coupes longitudinales	1 : 500 - 1 : 200
Coupe(s) verticales avec déblai/remblai tous les 25 m	1 : 500 - 1 : 200
Détail/coupe de l'étanchéité de base	1 : 25 OU 1 : 10
Désignation du coefficient d'imperméabilité k_f pour la couche d'argile ainsi que les nombres de couches (2 x 25 cm, 3 x 20 cm, 3 x 30 cm etc.)	
Désignation pour la géo-membrane de son épaisseur (2/2,5 etc.), la matière (PEHD) et sa texture (lisse/lisse, lisse/rugueuse, rugueuse/rugueuse)	
Désignation du géotextile de protection avec son type (<i>non tisse</i>) et son masse surfacique (<i>min 1000 g/m²</i>)	
Désignation de la couche de drainage avec son épaisseur et sa fourchette granulométrique (16/32 ou 10/40) ainsi que son épaisseur	
Désignation de la conduite de drainage avec sa matière (PEHD) son diamètre extérieur (200/250/315 etc.) son type (<i>perforé/fissuré/plein</i>) et sa PN	
Plan de détail de la zone de la conduite de drainage (<i>coupe verticale</i>)	1 : 25
Les pentes verticales	
La conduite de drainage et son diamètre extérieur d_a , son type, sa matière et sa PN	
Le lit de pose de la conduite	
La hauteur de la couche de protection au-dessus de la conduite ($> 2 d_a$)	
La largeur de la couche de protection au-dessus de la conduite ($> 2 d_a$)	
Le détail de l'étanchéité de base au-dessous de la conduite	
Le détail du passage de la conduite de drainage à travers la digue du casier	1 : 20
Détail de l'ancrage de la géo-membrane en haut de talus	1 : 25
Détail des regards de contrôle/de maintenance des lixiviats	1 : 25
Plan de masse des bassins de lixiviats	1 : 500
Coupe verticale des bassins de lixiviats y inclus détails de l'étanchéité et de la voie circulaire	1 : 50
Détail du passage busé/déversement et du déversement vers le rejet naturel	1 : 25
Architecturaux/Bâtiments	
Bâtiments	
Poste de gardiennage	
Poste d'accueil avec pont-bascul	
Administration y inclus vestiaires «noir» et «blanc»	
Hangar de maintenance	

[illegible]

Désignation	Echelle
<i>(Centre de tri)</i>	
<i>(Logement de fonction)</i>	
Station de lavage de roues	
Abris compacteur	
autres	
Traitement des espaces extérieurs	
Plans des différents niveaux	1 : 100
Coupes générales, longitudinales et transversales	1 : 100
Plans des façades	1 : 100
Détails significatifs	1 : 50
Techniques	
Principes de structures - Coupes et zones types	
Principes des fondations - Coupes et zones types	
Schémas généraux de fonctionnement des installations techniques	
Tracés unifilaires de réseaux et terminaux sur zones types	1 : 100
chauffage-ventilation, plomberie, électricité	
Tracés de principe des réseaux extérieurs	
Voiries	
Stationnement de la voirie (<i>tous les 25 m</i>) sur le plan de masse	1 : 1000
Coupe transversale chaque 25 m	1.500, 1 : 200
Coupe longitudinale	
Coupe type des voiries (<i>les voies asphaltées, les pistes etc.</i>) y inclus les pentes	1.50
Notices	
Notices descriptives	
Notice de sécurité et de lutte contre l'incendie	
Tableau détaillé des surfaces	
Documents économiques	
Estimation définitive du coût prévisionnel des travaux décomposés en corps d'état	
Dossier d'appel d'offres	
Cahier des clauses administratives (<i>générales et particulières</i>)	
Cahier des clauses techniques (<i>générales et particulières</i>)	
Bordereaux des prix unitaires	
Devis quantitatif et estimatif	
Plan d'Assurance Qualité	
Plans de détails	

[illegible]

AUTEURS

Dipl.-Ing Chakir Kasdarli (*Kocks Consult GmbH*)

Dipl.-Ing. Bernhard Gipp (*Kocks Consult GmbH*)

Dipl. Bauas. Robert Ueberholz (*Kocks Consult GmbH*)

Avec l'aimable contribution de **Mr Gilbert Tracqui** (*Conseiller technique*) qui a fourni la base de ce manuel grâce à son expérience particulière durant les dernières 15 années en Algérie.

POUR LE COMPTE DU

PRODEC

KOCKS
ENGINEERS

en coopération professionnelle avec le groupement GOPA/Kocks Consult