

Chapitre III

Mise en décharge des déchets ménagers et assimilés

3.1. DECHARGE CLASSIQUE OU INCONTROLEE

La décharge classique (Figure 26) a été mise au point vers 1920 par deux ingénieurs Anglais : J.C. Dawes et M. Call. Le principe consiste à entasser, de façon rationnelle, les déchets au sein de l'ouvrage. L'entassement se fait progressivement en superposant alternativement couches de déchets et matières inertes (sable, mâchefer, cendre...). Le tout est recouvert par de la terre.



Figure 26 : (a), (b) Décharge classique ou incontrôlée.

Ce type de décharge est sans doute le mode d'élimination terrestre le plus couramment appliqué dans les pays en développement. Il n'est précédé d'aucune étude d'impact ni analyse environnementale et les déchets sont mélangés sans tri d'où le nom de la « *décharge incontrôlée* » ou « *décharge à ciel ouvert* » ou « *décharge sauvage* ».

Exemples de quelques décharges Algériennes

L'évolution qu'a connue l'Algérie, notamment en matière d'industrialisation, de mode de vie et de la consommation s'est répercutée sur l'apparition de plusieurs décharges parmi lesquelles, on cite celle de :

- **Oued Smar** d'Alger.
- **Chiffa** de Blida.
- **Hcheme** de Mostaganem.
- **El Kerma** d'Oran.
- **Safsaf** de Tlemcen.

3.2. UNE DECHARGE EST UN BIOREACTEUR A GERER

Le bioréacteur est le siège d'une activité microbologique. Il est caractérisé par les flux entrants, les flux sortants, ainsi que par la population microbienne. Le développement de celle-ci dépendra aussi de paramètres tels que la température, le pH, le potentiel redox, l'humidité, ainsi que la présence d'inhibiteurs.

La décharge est un très vaste réacteur biochimique où se retrouvent mélangés des millions de composés chimiques, organiques et minéraux, interagissant les uns avec les autres sous l'influence d'agents naturels (pluies, micro-organisme). Ces réactions aboutissent à une transformation biologique, physique et chimique des déchets avec libération (et consommation) de liquides et de gaz. Cette transformation se trouve presque achevée en un siècle.

Très schématiquement, une décharge peut être caractérisée comme indiqué (Figure 27) par un flux entrant (eau de pluie et déchets), un flux sortant (biogaz et lixiviats) et une population microbienne.



Figure 27 : Représentation schématique d'une décharge.

3.3. LES EFFLUENTS DE DECHARGE : LIXIVIATS ET BIOGAZ

3.3.1. Les lixiviats de décharges

On désigne par lixiviats, eaux usées appelées encore *percolats*, *lessivats* ou *jus de décharge*, les eaux qui ont percolé à travers les déchets en se chargeant physiquement et surtout chimiquement de substances minérales et organiques. Les lixiviats sont produits par le contact entre les déchets et l'eau : essentiellement l'eau de pluie et l'eau contenue dans les déchets.

Les lixiviats peuvent atteindre la nappe phréatique et ainsi se propager dans d'autres milieux. Ils peuvent donc engendrer des pollutions et des dysfonctionnements dans les écosystèmes voisins (notamment en intégrant la chaîne alimentaire par leur accumulation dans les végétaux).

Les jus de décharge sont souvent assimilés à des rejets industriels complexes contenant à la fois des polluants toxiques : organiques et minérales. Si leur présence risque d'entraîner la contamination de sources d'eau potable ou une pollution de surface, ils doivent nécessairement subir un traitement avant leur rejet dans le milieu naturel.

Les procédés de traitement appliqués aux percolats de décharge sont nombreux, à savoir :

a. Traitement biologique aérobie ou anaérobie

C'est le procédé le plus utilisé pour l'élimination de la pollution organique. Toutes les techniques de traitement des eaux usées sont applicables aux lixiviats : lagunage; boues activées, lits bactériens,...

b. Oxydation chimique

Les principaux oxydants sont l'ozone, le peroxyde d'hydrogène, le chlore, l'hypochlorite de calcium et le permanganate de potassium.

c. Adsorption

Le charbon actif est le matériau le plus utilisé pour le traitement physico-chimique des lixiviats. Néanmoins, en raison de son coût relativement élevé et de la forte charge organique du jus de décharge, il est conseillé de l'utiliser conjointement à d'autres procédés.

d. Coagulation-floculation

Les réactifs les plus employés, pour la coagulation-floculation des lixiviats, sont le sulfate d'alumine ou alun, le sulfate ferreux, le chlorure ferrique et le chlorosulfate ferrique.

e. Procédés à membrane : osmose inverse

C'est un procédé connu et d'une utilité certaine dans beaucoup de secteurs de l'industrie et dans le traitement des effluents les plus pollués. Les résidus organiques et les solides dissous y sont concentrés (concentrât) et le procédé engendre un flux d'eau traitée (perméat) ne contenant plus que de minimes concentrations de contaminants et possédant les normes d'une eau pouvant être rejetée dans un milieu aquatique naturel.

3.3.2. Le biogaz de décharges

Le biogaz est produit par la décomposition anaérobie des déchets organiques. On ne le trouve donc que dans des centres de stockage de classe II ou dans d'anciennes décharges recevant des déchets mélangés. La production s'effectue comme dans un biodigester avec quatre phases : *hydrolyse*, *acidogénèse*, *acétogénèse* et *méthanogénèse* (cf. Chapitre IV). Ces réactions biochimiques s'opèrent à une température inférieure à celle des biodigesteurs.

Le tableau 7 suivant donne la composition moyenne du biogaz de décharge constitué essentiellement de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂), considérés comme gaz majoritaires résultant de la digestion anaérobie des déchets.

Tableau 7 : Composition moyenne du biogaz de décharge (% volumique).

Gaz	Minimum	Maximum
CH ₄	30 %	55 %
CO ₂	22 %	50 %
N ₂	3 %	26 %
H ₂ S	4 mg/m ³	20 mg/m ³
CO	0	3 %
H ₂	0	3 %
O ₂	1%	8 %
NH ₃	0	0,35.10 ⁻⁶ vol.
H ₂ O	4 % environ	

Dans une décharge, la composition du biogaz émis varie au cours du temps, en fonction des réactions biochimiques dominantes. Le diagramme typique d'évolution de la composition du biogaz est présenté sur la figure 28. En régime stable, le biogaz contient entre 50 et 70 % de CH₄ et entre 30 et 50 % de CO₂.

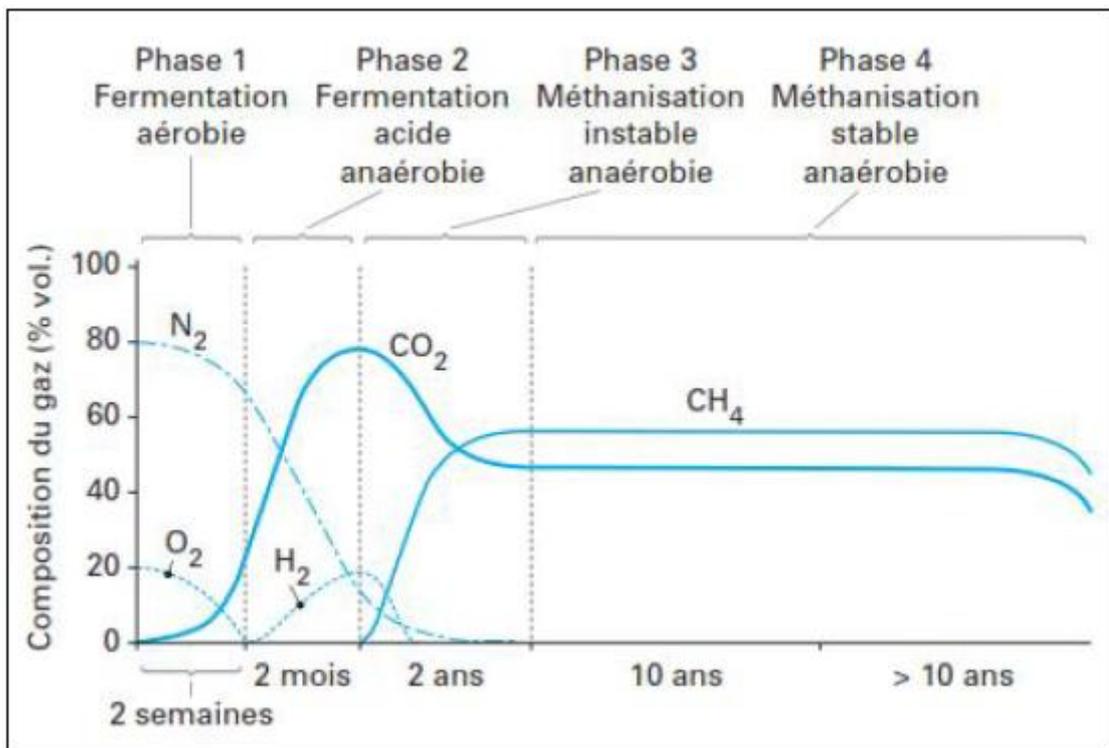
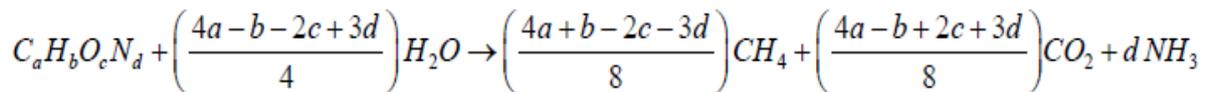


Figure 28 : Schéma d'évolution de la production gazeuse dans une décharge.

3.3.2.1. Estimation de la production de biogaz par réaction stœchiométrique

Le volume total de biogaz produit par voie anaérobique peut être estimé par réaction stœchiométrique. En supposant que la composition des déchets organiques est connue et qu'il s'agit d'une conversion totale des réactifs en produits, l'on peut estimer la quantité des gaz produits par la réaction chimique suivante :



En observant les différentes phases de production de gaz, on remarque que de manière générale on trouve deux sortes de matériel dégradable, celui à dégradation rapide et un autre à dégradation lente. Par exemple, ceux à dégradation rapide incluent: les déchets de table, les journaux et le papier. Par contre, ceux à dégradation lente comprennent: le caoutchouc, le cuir, le bois et le plastique. Empiriquement, la formule $C_{68}H_{111}O_{50}N$ peut décrire les déchets rapidement décomposables, tandis que la formule $C_{20}H_{29}O_9N$ peut être utilisée pour les déchets lentement biodégradables.

3.3.2.2. Captage du biogaz

La migration du biogaz au sein du massif de déchets est régie par la perméabilité du milieu et son caractère hétérogène lié à la nature même des déchets et à leur mode d'exploitation en couches. Les gaz diffusent suivant des mécanismes de gradient de pression entre l'atmosphère et l'intérieur du massif.

Le biogaz est capté pour plusieurs raisons :

- ❖ pour réduire les émissions de gaz toxiques dans l'atmosphère ;
- ❖ pour réduire la migration de gaz dans le sous-sol ;
- ❖ pour diminuer les odeurs ;
- ❖ et pour faciliter la valorisation de l'énergie à partir des gaz.

La conception du système de captage du biogaz, désignant en fait le système de drainage des gaz internes au massif de déchets, dépend des choix pris pour le mode d'exploitation du site. Il existe deux méthodes pour le contrôle et le captage du biogaz (Figure 29) : le contrôle passif (sans apport d'énergie) et le contrôle actif (avec apport d'énergie).

1. **Contrôle passif** : puits d'extraction par l'installation des tubes perforés en PVC de diamètre entre 10 et 15 cm et des hauteurs allant jusqu'à 2/3 de l'hauteur totale du site. Une ceinture ou pipeline fermée et non-perforée relié en surface les puits d'extraction verticaux. La densité recommandée de puits d'extraction est de 1/5 m².

2. **Contrôle actif** : le même système mais avec un mécanisme de pompage à vide qui extrait le biogaz collecté à l'aide des puits d'extraction profonds reliés par un tuyau collecteur à une soufflerie qui fournit le gaz à des fins énergétiques ou à un brûleur sur le site ou tout simplement le rejette dans l'atmosphère. Les paramètres qui influencent cette méthode sont : le nombre et la capacité des pompes, la densité/m³ de puits d'extraction, la perte de charge dans le système de collection, la pression des gaz due à l'hausse de température (50 °C et plus).

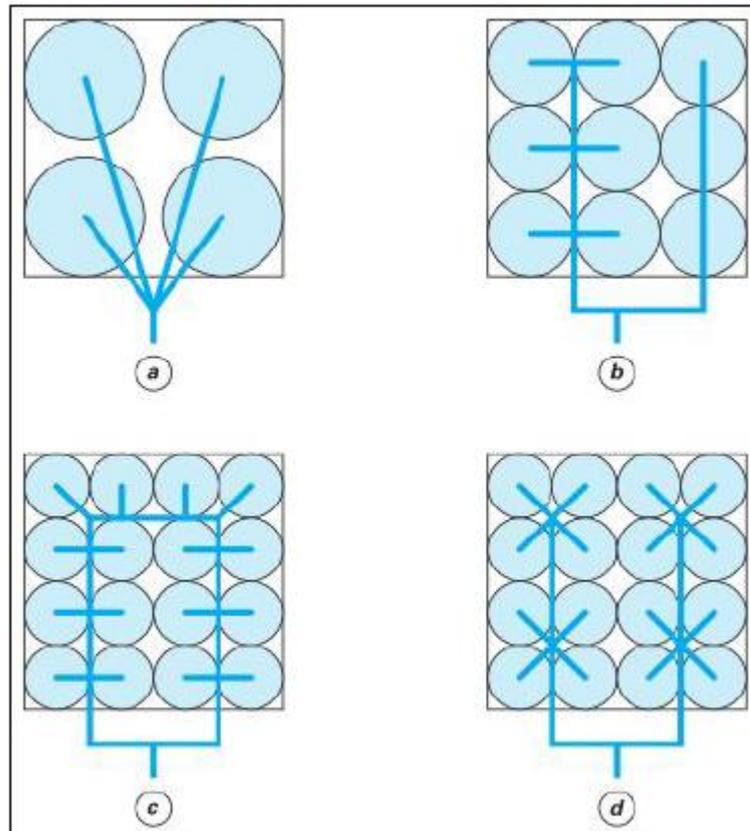


Figure 29 : Dispositifs de collecte du biogaz : (a) puits connectés à une installation d'extraction par un tuyau séparé, (b) puits connectés à une ou plusieurs conduites (dispositif assez fréquent), (c) puits connectés à une conduite en anneau, (d) puits connectés entre eux, puis reliés par groupe à l'unité d'extraction (dispositif utilisé lorsque le nombre de puits est important).

3.3.2.3. Techniques d'extraction et de destruction du biogaz

Le traitement et le conditionnement du biogaz comportent plusieurs étapes. Le biogaz est tout d'abord aspiré au moyen d'un système d'extraction dont le débit fait l'objet d'une régulation qui conditionne le taux de captage et la qualité du gaz. Les gaz sont ensuite injectés dans une unité d'incinération.

Cette unité d'incinération a pour fonction de convertir les composés inflammables ou toxiques du gaz en composés inertes. Il s'agit principalement d'un système constitué par une *torchère* dont les performances sont liées à la température de la flamme et à la qualité de combustion.

L'ensemble d'une installation type de collecte, transport et élimination du biogaz est représenté sur la figure 30.

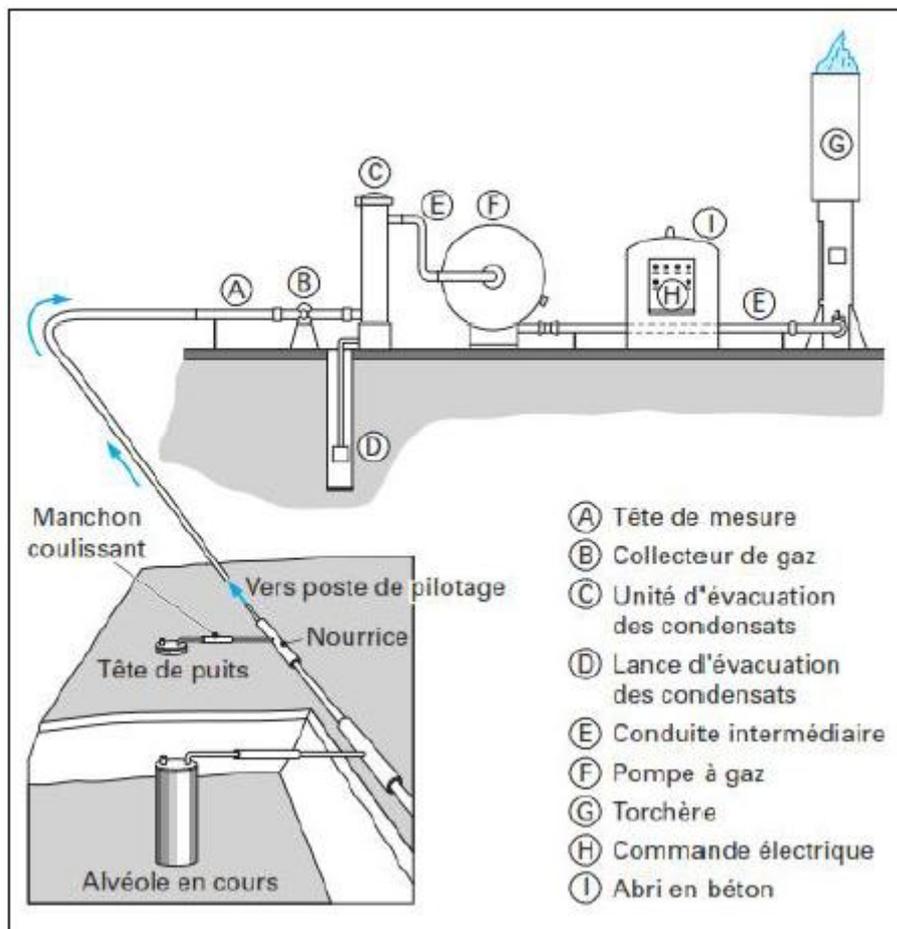


Figure 30 : Installation type de collecte, transport et élimination du biogaz.

3.3.2.4. Valorisation du biogaz

Compte tenu des propriétés énergétiques du biogaz, il peut être plus intéressant de le valoriser que de l'éliminer. Les principaux modes de valorisation du biogaz sont les suivants :

❖ *La production d'énergie électrique*

Une option de réutilisation du gaz peut être de produire l'électricité. Dans ce cas, les gaz servent comme carburant pour le générateur. L'électricité produite est utilisée soit sur place ou vendue au système local ou régional de distribution d'énergie. Le biogaz est converti en énergie avec une efficacité de 35 %.

❖ *La production de vapeur ou d'eau chaude*

Le biogaz peut être brûlé dans une chaudière à vapeur. Cette technique a un rendement plus élevé, jusqu'à 85 %. En outre, le biogaz peut être utilisé pour la production d'eau chaude (rendement jusqu'à 90 %).

❖ *Le nettoyage et la conversion de biogaz en gaz naturel*

Une autre option peut être de nettoyer et comprimer le gaz naturel comme source d'approvisionnement de carburant pour une utilisation sur ou hors site. En raison du coût d'investissement élevé, cette approche n'est utile que dans le cas de la grande production de biogaz.

❖ *La co-génération (production d'électricité et de chaleur)*

3.4. DECHARGE CONTROLEE (CET OU CSD)

Ce type de décharge est appelé centre d'enfouissement technique (CET) ou centre de stockage des déchets (CSD) par les francophones et « *sanitary landfill* » par les Anglo-saxons. Le principe reste cependant similaire à celui de la décharge classique. La différence se situe au niveau de la conception de l'ouvrage. Avant le démarrage de l'enfouissement des déchets, le fond et les côtés de la décharge sont recouverts successivement de couches de sable, de bentonite et/ou d'argile, de polyéthylène (PEHD) étanche et de sable (couche drainante).

3.4.1. Classification des centres d'enfouissement techniques

Un Centre d'Enfouissement Technique (CET) est une installation permettant de stocker les déchets acceptés en les isolant du milieu qui les entoure et d'éviter toute contamination du sol et de la nappe phréatique. Créer un site d'enfouissement répond à des critères techniques incontournables : nature géologique des sols, absence de nuisances pour les riverains, accessibilité, maîtrise foncière par les collectivités publiques. Il existe une classification des installations de stockage de déchets, réparties en 3 classes (Figure 31) :

- ❖ **CET de classe 1** : destiné à accueillir les déchets industriels dangereux (cf. Chapitre VII).
- ❖ **CET de classe 2** : reçoit les ordures ménagères et déchets assimilés.
- ❖ **CET de classe 3** : reçoit les déchets inertes : terres, gravats, béton concassé, etc.

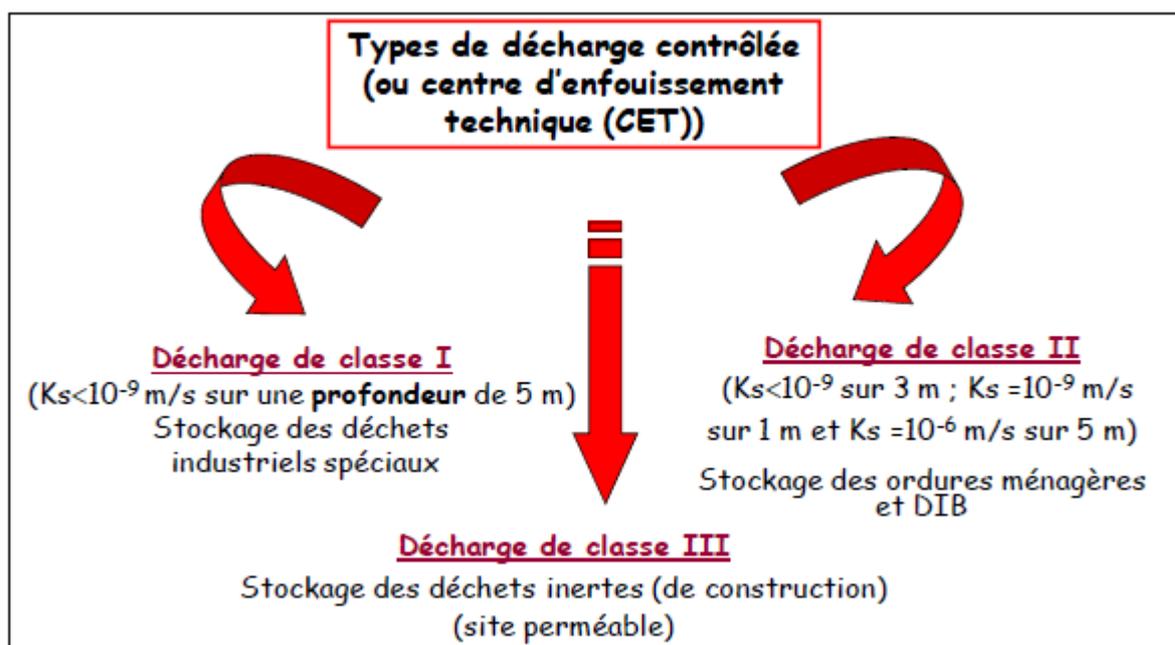


Figure 31 : Classification des centres d'enfouissement techniques (CET) en fonction de la perméabilité du sol.

Cette classification des centres d'enfouissement repose sur la valeur du coefficient de perméabilité (K_s) du sol choisi pour accueillir une décharge. Ce coefficient définit la vitesse de percolation des eaux dans un sous-sol et est exprimé en m/s ou cm/s et calculé à partir de la loi de Darcy comme suit :

$$K_s = 2,3 \cdot \frac{S_1}{S_2} \cdot \left(\frac{H - \Delta h}{t_1 - t_0} \right) \cdot \left(\log \frac{h_0}{h_1} \right) \quad (10)$$

où,

K_s : coefficient de perméabilité (cm/s).

S_1 : section du tube capillaire du perméamètre (cm²).

S_2 : section de l'éprouvette (cm²).

Δh : variation de hauteur de l'éprouvette (cm).

H : épaisseur de l'éprouvette (cm).

$t_1 - t_0$: intervalle de temps entre les lectures des niveaux de charge h_0 et h_1 (s).

h_0 et h_1 : lectures des niveaux de charge sur la règle graduée aux temps t_0 et t_1 (cm).

La figure 32 suivante montre le dispositif expérimental nécessaire aux essais de mesure de la perméabilité du sol d'une décharge.

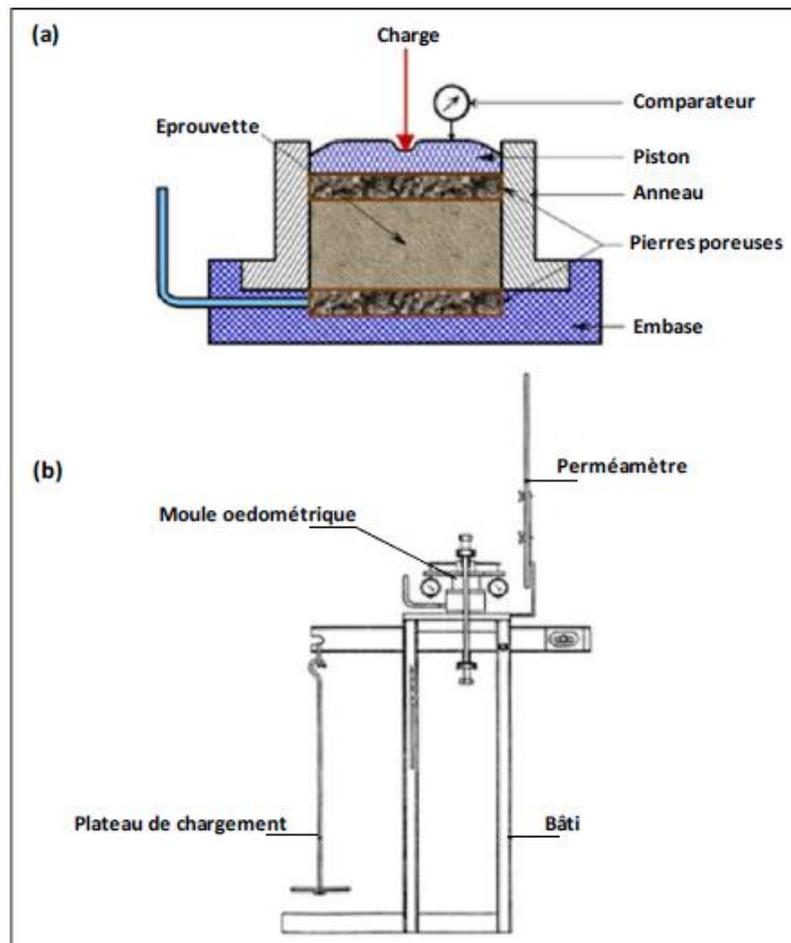


Figure 32 : Dispositif expérimental pour la mesure de la perméabilité du sol d'une décharge : (a) Moule oedométrique, (b) Système oedomètre + perméamètre.

3.4.2. Structure d'un centre d'enfouissement technique de classe 2 (CET 2)

Un centre d'enfouissement de classe 2 est essentiellement réservé aux déchets ménagers et assimilés (Figure 33). Dans ce cas, le coefficient de perméabilité K_s est compris entre les deux valeurs suivantes : $10^{-9} < K_s < 10^{-6}$ m/s sur une épaisseur supérieure à 5 m. Des sols en grès ou les milieux sablo-argileux conviennent à ce type de site.

Ce centre de stockage comprend une surface de stockage de plusieurs dizaines d'hectares composé de casiers, indépendants, sur le plan hydraulique, constitué d'alvéoles, dans lesquelles sont entreposés les déchets, dont la hauteur doit être déterminée de façon à ne pas dépasser la limite de stabilité des digues. En pratique, les casiers ont fréquemment des surfaces maximales allant de 5000 m pour une petite décharge de 1,5 ha pour une grande décharge. Les casiers sont entourés de digues étanches et l'ensemble des casiers est entouré d'une digue périphérique pouvant avoir des pentes internes de 2/1 et des pentes externes de 3/1. Les déchets sont entreposés dans un lieu confiné, sans échange avec les milieux environnant (eaux souterraines, sol et atmosphère). Entre le stockage de déchets et ces différents lieux, des dispositifs de sécurité sont aménagés sous forme de "*barrières*", *passives* et *actives* (Figure 34) :

- **Barrière passive (étanchéité naturelle)** constituée par la couche géologique naturelle et doit présentée de haut en bas, une perméabilité (K_s) inférieure à 10^{-9} sur au mois 1 m et inférieure à 10^{-6} sur au mois 5 m. Une couche d'argile ou des matelas de bentonite sont des moyens qui permettent de réaliser une étanchéité naturelle.

- **Barrière active (étanchéité artificielle)** constituée du bas vers le haut : d'une géomembrane, ou tout dispositif équivalent. Elle constitue la meilleure prévention des transferts advectifs, surmontée d'une couche de captage et d'un réseau de drainage pour les lixiviats. Seules les géomembranes en PEHD (Polyéthylène à Haute Densité) seraient chimiquement résistantes aux lixiviats, si elles sont bien installées et le retour d'expériences après leur utilisation en fond de décharge serait de 20 ans. En effet, le PEHD a réussi à s'imposer comme matériau d'étanchéité des décharges ; de grandes bandes de plusieurs mètres de large sont déroulées sur le fond de la décharge puis soudées thermiquement entre elles.

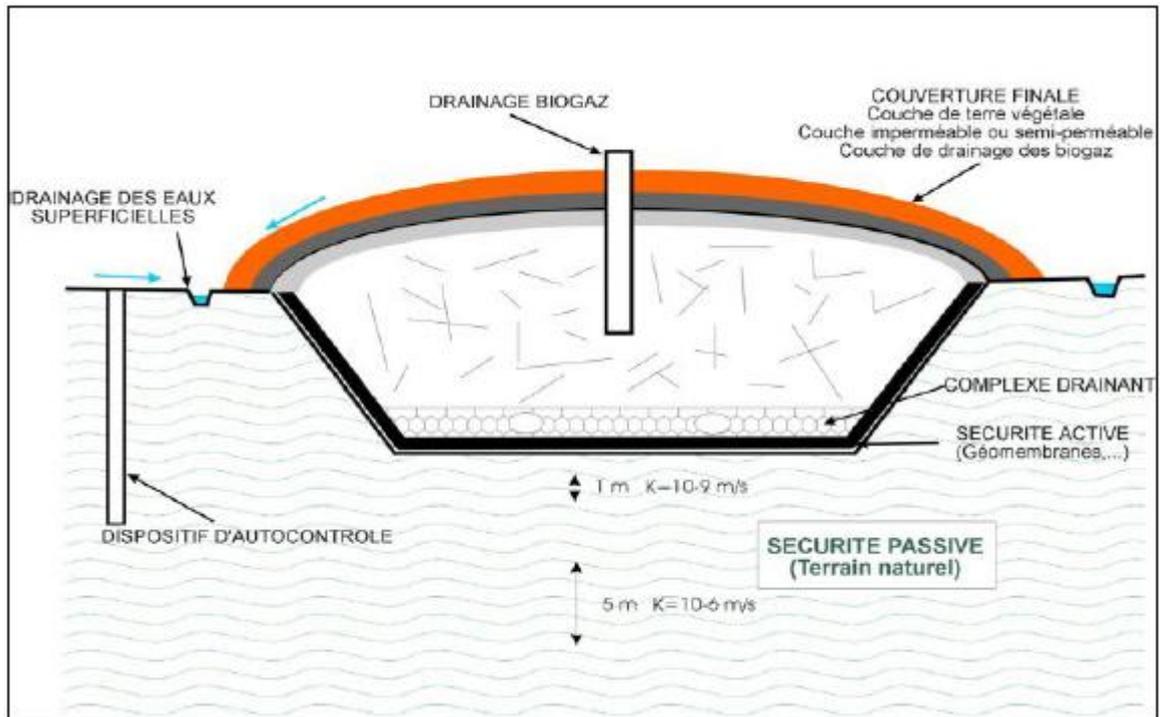


Figure 33 : Schéma du principe de fonctionnement d'un CET de classe 2.

* *Sécurité active* : pour éviter les entrées d'eaux et évacuer les lixiviats.

Sécurité passive : pour assurer la pérennité au système de confinement.

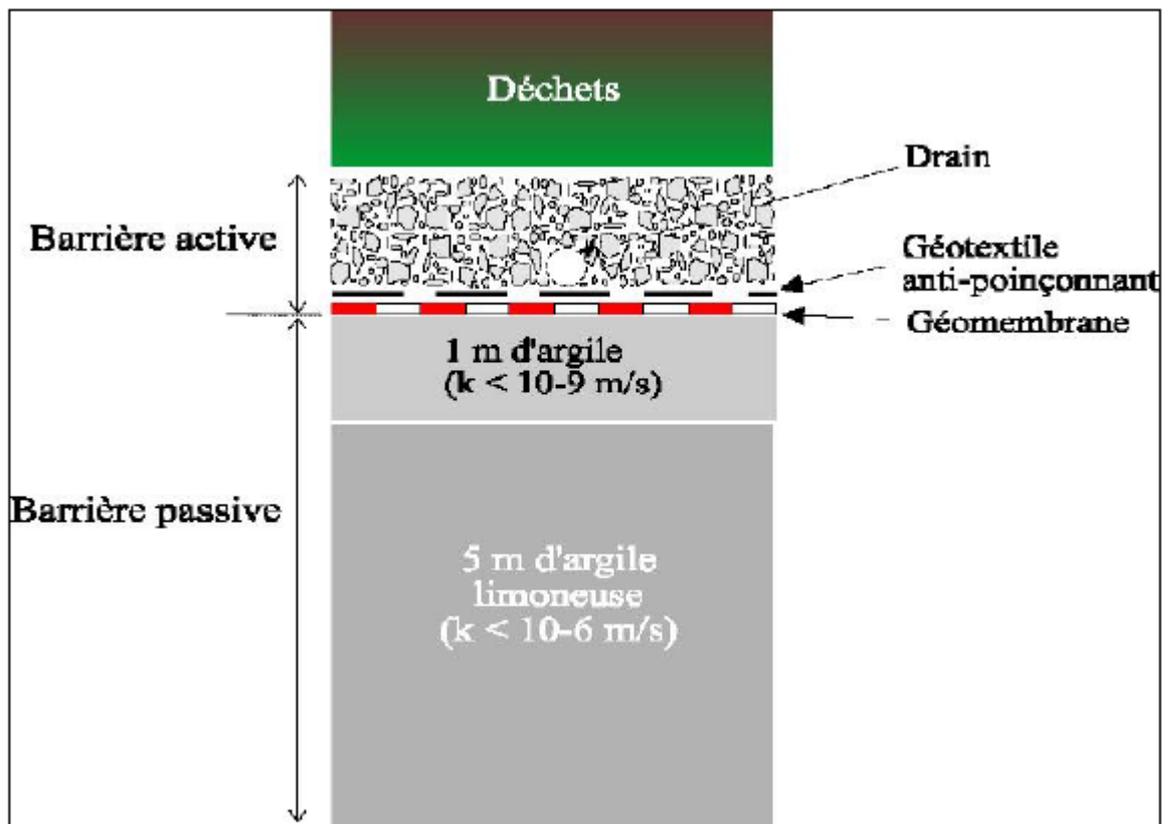


Figure 34 : Fond de CET de Classe 2.

Un CET de classe 2 reçoit habituellement les déchets ménagers et assimilés. Ces déchets sont répartis en six catégories :

– **catégorie D** : déchets dont le comportement est fortement évolutif conduisant à la formation des lixiviats chargés et de biogaz. La plupart des déchets ménagers et assimilés bruts non triés et des déchets d'activités industrielles ou artisanales appartiennent à cette catégorie : ordures ménagères, déchets de voirie, encombrants domestiques avec composants fermentescibles, déchets verts, boues, bois, papiers, cartons ;

– **catégorie E** : déchets dont le comportement est peu évolutif, dont la capacité de dégradation biologique est faible et présente un caractère polluant modéré. Ils sont subdivisés en :

- **E1** : déchets peuvent être valorisés (plastiques, métaux, ferrailles, verre, refus de tri, DIB non fermentescibles,...).
- **E2** : déchets valorisables avec un caractère minéral (mâchefers, cendres issus de la combustion, sables de fonderie).
- **E3** : ni E1, ni E2, déchets peu valorisables avec un caractère minéral (boues, poussières, sels non fermentescibles et non DIS, déchets minéraux non DIS).
- **E4** : déchets contenant de l'amiante.
- **E5** : autres déchets de la catégorie E.