

Impact de l'enfouissement des déchets solides urbains en Algérie : expertise de deux centres d'enfouissement technique (CET) à Alger et Biskra

Kehila Y.⁽¹⁾, Mezouari F.⁽¹⁾ et Matejka G.⁽²⁾

1. Laboratoire architecture et environnement (LAE), Ecole nationale supérieure d'architecture (ENSA) - Alger (Algérie)

2. Groupement de recherche eau, sol, environnement (GRESE), ENSIL - Université de Limoges - (France).

Pour tout contact : kehilayoucef@yahoo.fr

Résumé

Le stockage des déchets solides urbains en Algérie a fait depuis quelques années l'objet d'une évolution réglementaire remarquable. La loi 01-19 du 12 décembre 2001 exige l'élimination saine et écologiquement rationnelle des déchets. Le respect de l'environnement implique, de fait, un « saut technologique » dans la conception des centres d'enfouissement technique (CET), considérés comme une technique compétitive et sûre par rapport aux autres filières d'élimination des déchets, lorsqu'ils sont conçus dans les règles de l'art.

L'étude proposée vise la détermination des conditions optimales d'enfouissement des déchets solides urbains. Elle repose sur l'expertise de deux centres d'enfouissement techniques, l'un situé à Ouled Fayet (Alger) et l'autre à Biskra. Ces CET présentent comme spécificités d'être comparables au niveau conception mais situés dans deux zones climatiques complètement différentes, climat humide (méditerranéen) pour le premier, et aride (Sahara) pour le deuxième.

Les travaux que nous présentons dans cet article comportent un volet expérimental (caractérisation physico-chimique des déchets et analyse des lixiviats) et un volet théorique (modélisation numérique du bilan hydrique).

Mots clés : déchets solides urbains, enfouissement, CET, lixiviats, impacts écologiques.

1. Introduction

L'enfouissement fait partie des techniques de gestion des déchets qui ont le plus évolué ces dernières années. Le stockage des déchets a en effet contribué à redonner à ces équipements, rebaptisés « centres d'enfouissement technique » (CET), un statut d'outil performant d'élimination des déchets dans le respect de l'environnement (ADEME, 1999). Conformément aux nouvelles dispositions réglementaires, notamment la loi 01-19/2001, le gouvernement algérien a opté pour cette technique, compte tenu de la simplicité de sa mise en place comparativement aux autres types de procédés comme l'incinération ou le compostage. Un programme ambitieux de réalisation de CET a ainsi été lancé depuis 2002. A ce jour, pas moins de 79 centres sont déjà réceptionnés ou en cours d'achèvement (MATE, 2003).

Un CET est assimilé à un vaste réacteur biochimique donnant lieu à des réactions et à des évolutions complexes qui aboutissent à la transformation chimique, physique et biologique des déchets (Couturier C., 2003). Cependant, du fait des conditions géologiques et hydrologiques du site, de la nature des déchets stockés et du mode d'exploitation, chaque centre d'enfouissement est un cas unique. Il n'est donc pas envisageable de déterminer avec précision un mode d'évolution qui serait applicable à tous les centres.

Certains phénomènes sont toutefois communs à la majorité des sites et peuvent être quantifiés, permettant ainsi de caractériser l'évolution générale d'un centre d'enfouissement, en particulier en ce qui concerne les aspects biologiques, physico-chimiques, hydrauliques et géotechniques. Cette étude a concerné deux sites, le premier situé dans l'agglomération algéroise, en zone humide avec une pluviométrie annuelle dépassant 500 mm, et le deuxième à Biskra, en zone aride, avec une pluviométrie annuelle inférieure à 200 mm.

Les paramètres climatiques pris en considération sont les précipitations, la température et l'évaporation. Ces trois paramètres influent directement sur le débit des lixiviats produits par les déchets stockés au niveau des casiers et constituent des facteurs importants dans la fermentation des déchets et la production de biogaz. La durée d'ensoleillement et la direction des vents sont aussi importantes pour l'évaluation des risques d'implantation d'un CET.

2. Présentation des sites d'études

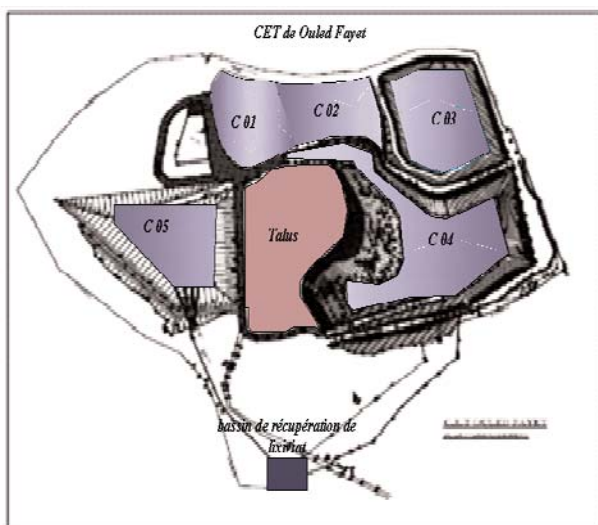
2.1 CET d'Ouled Fayet (Alger)

Le CET est situé dans l'agglomération algéroise, à 16 km au sud-ouest d'Alger, et à 3 km du chef-lieu de la commune d'Ouled Fayet. La superficie du site est de 40 hectares, dont 20 réservés à l'enfouissement. Le terrain est situé sur un plateau légèrement vallonné formant naturellement le corps des casiers d'enfouissement.

Le CET est ouvert depuis octobre 2002. Cinq casiers devraient recevoir les déchets ménagers d'une trentaine de communes sur les 57 que compte la wilaya d'Alger, pour une population d'environ 1 000 000 d'habitants (fig. 1). La durée de vie du CET est fixée à 10 ans environ.

La quantité de déchets ménagers réceptionnée sur le site est en moyenne de 800 tonnes par jour. Les trois premiers casiers, munis d'une géomembrane de 1,5 mm d'épaisseur et de tuyaux de drainage en PVC de diamètre 250 mm, sont déjà remplis et couverts (Kehila Y. et al., 2006). Le cinquième casier d'une capacité de 500 000 m³ est en fin de remplissage. Le quatrième (1 250 000 m³) est achevé mais non encore exploité. Ces deux derniers casiers sont munis d'une géomembrane en PEHD d'une épaisseur de 2 mm sur le fond et les flancs et d'un géotextile de protection de masse surfacique de 1 200 g/m². Le système de drainage est composé de tuyaux en PEHD de diamètre de 300 mm protégés par un filtre en géotextile.

Figure 1 : Site du CET d'Ouled Fayet avec ses casiers



Le réseau hydrographique est relativement bien développé dans la zone d'étude. Il regroupe un grand ensemble de cours d'eau. Un ancien lit d'oued complètement recouvert (Oued Ben Brahim) traverse le site dans la direction nord-ouest/sud. En temps normal, ce cours d'eau considéré comme temporaire est d'importance secondaire, compte tenu des faibles précipitations. Par conséquent, l'apport en eau de surface peut être plus volumineux en cas de fortes pluies. Pour ce qui est des niveaux aquifères, le site appartient au pliocène inférieur, qui laisse à peine passer les eaux, en raison des marnes et des argiles bleues. Ces couches sont à perméabilité très faible et ne comportent pas de nappes d'eau souterraine.

2.1.1 Température

La période de décembre à avril représente les mois les plus froids de l'année, la période de juin à septembre comprend les mois les plus chauds. Les températures enregistrées se situent entre les valeurs extrêmes de 6 °C et 32 °C. Le tableau 1 ci-dessous indique les données moyennes des températures maximales et minimales et des précipitations durant les dix dernières années.

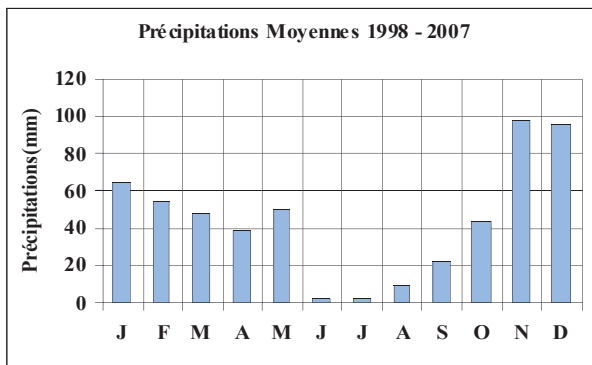
Tableau 1 : Moyennes annuelles des températures en relation avec les cumuls des précipitations (ONM*, 1998-2007)

Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
T _{Max}	23,8	24	24,4	25	25,6	24,3	24,1	24,2	25,3	24,2
T _{min}	11,5	12,7	12,6	11,5	12,7	12,6	11,9	11,3	12,5	12
T _{moy} (T°)	17,7	18,4	18,1	18,3	19,15	18,5	18	17,5	18,1	17,7
P _p (mm)	610	488	736	610	488	736	705	456	564	685

2.1.2 Pluviométrie

Dans la zone d'étude, les pluies sont abondantes en automne et en hiver. Elles atteignent leurs maxima au mois de novembre (97,3 mm) et décembre (95,3 mm), puis elles décroissent au printemps (50 mm) pour le mois de mai. Elles sont très faibles en été, voire presque inexistantes au mois de juillet (1,9 mm). Les précipitations annuelles durant les 10 dernières années se situent entre 456 mm et 736 mm, soit une moyenne d'environ 600 mm (fig. 2). L'eau influe directement sur l'alimentation des nappes phréatiques comme sur le débit des lixiviats produits par les déchets stockés au niveau des casiers.

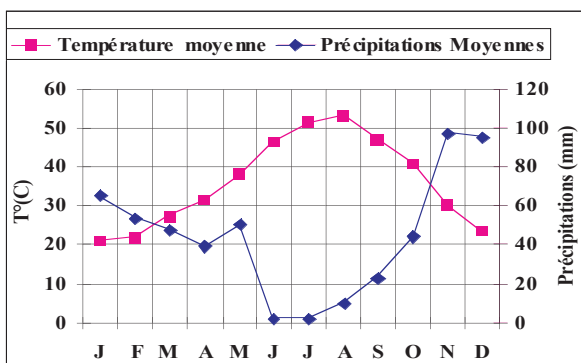
Figure 2 : Précipitations moyennes mensuelles (période 1998-2007)



Les précipitations moyennes mensuelles durant cette même période montrent un déficit en pluviométrie durant la période de juin à septembre tandis que les plus importantes sont enregistrées entre novembre et février.

Pour mettre en évidence la saison sèche, le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) et Bagnouls et Legris (1970) a été réalisé. Selon ces auteurs, un mois sec est celui où le total mensuel des précipitations exprimées en mm est égal ou inférieur au double de la température (°C) mensuelle, c'est-à-dire $P \leq 2T$. Le diagramme (fig. la période sèche et humide par la relation citée ci-dessus. Elle se situe entre les deux intersections des deux courbes.

Figure 3 : Diagramme ombrothermique du site d'Ouled Fayet - Alger (1998-2007)



Selon le diagramme, la période sèche s'étale sur plus de sept mois, c'est-à-dire de la mi-mars à fin octobre, tandis que la période humide dure à peine cinq mois. La saison sèche reste dominante.

Pour l'état des vents de la région d'Ouled Fayet (Alger), le changement de direction des vents dominants est fonction des saisons. En automne et en hiver (octobre-mars), les vents soufflent d'ouest à sud-ouest, au printemps et en été (avril-septembre), ils soufflent du nord à nord-est. La moyenne mensuelle de la vitesse du vent est comprise entre 2,8 et 4,2 m.s⁻¹.

2.2 Site d'El Outaya-Biskra

La ville de Biskra est située dans le Sud-Est algérien, à la porte du désert (Sahara) connu pour ses conditions climatiques extrêmes, notamment dans sa partie centrale. La pluviométrie décroît rapidement du Nord vers le Sud. Dans la région du Sud (Nord du Sahara), la pluviométrie est en dessous de 200 mm. Elle est considérée comme une variante extrême du climat méditerranéen.

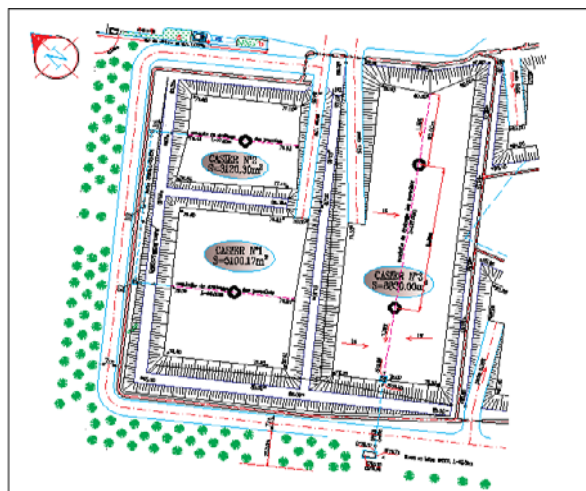
Le site du centre d'enfouissement technique (CET) est situé sur la commune d'El Outaya à 14 km au nord de Biskra. Il est desservi par la route nationale 3 qui relie Biskra à Batna. La superficie totale du site est d'environ 20 hectares.

Le terrain est situé sur un plateau assez accidenté. Les casiers se situent à une altitude moyenne de 250 m environ. La lithologie de ces formations est constituée de calcaire, graviers calcaires, dolomie, marne, argile, limon, sables et sels.

Selon Guettala (2006), les sols sont gypseux et salés. La présence de sel soluble et/ou de sodium échangeable en quantité excessive confère à ces sols des propriétés physiques, chimiques et biologiques particulières et influencent la composition des eaux superficielles et souterraines.

Le CET de Biskra a été ouvert le 6 février 2008 pour recevoir les déchets ménagers de la circonscription de Biskra, pour une population d'environ 200 000 habitants. Trois casiers sont achevés et étanchéifiés (argile + membrane + géotextile) : C1, C2 et C3 (fig. 4). Le casier 3, d'un volume de 58 800 m³ environ (140 x 60 x 7 m), est en exploitation depuis l'ouverture du CET. La production de déchets reçue sur le CET est évaluée à environ 90 tonnes par jour. Si on considère que cette quantité représente 80 % de la production totale, on peut estimer une production moyenne de déchets comprise entre 0,5 et 0,6 kg par habitant et par jour.

Figure 4: Site du CET de Biskra avec ses casiers



Le réseau hydrographique de la région de Biskra se situe dans le bassin versant Melghir. Ce dernier est dense et de type aride. Le principal collecteur est l'oued Djedi, qui occupe une gouttière qui s'étire du sud-ouest vers le nord est, puis, de l'ouest vers l'est (ANRH, 1986). Les écoulements dans les talwegs ne sont qu'occasionnels, où l'état normal est l'absence d'écoulement, et les crues n'intéressent qu'exceptionnellement de vastes étendues. Les formations du continental terminal recèlent deux grandes catégories de nappes souterraines. Les nappes captives se situent sous des toits imperméables et les nappes libres sont eu profondes. Elles se situent dans tous les cas à plus de 50 m de profondeur.

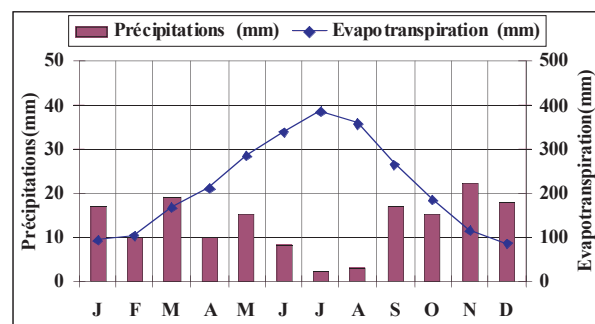
2.2.1 Température

La région présente de forts maxima et de grandes amplitudes thermiques, du fait de sa position continentale. L'écart diurne dépasse 50 °C dans la station de Biskra (aéroport). Le sol se réchauffe beaucoup plus que l'air pendant la journée. Il faut noter que cette région reçoit une très forte quantité de lumière solaire. L'ensoleillement se situe entre 3 000 et 3 500 h.

2.2.2 Pluviométrie

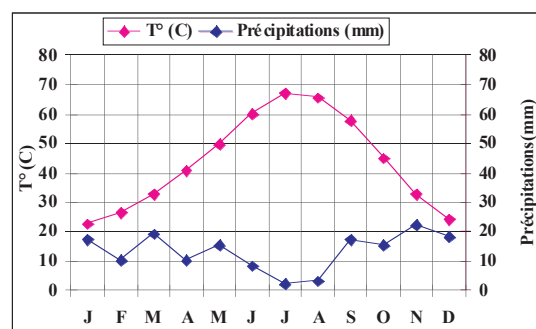
L'évaporation atteint des proportions considérables. Selon Ozenda (1977), entre 3 000 et 5 000 mm d'eau s'évaporent chaque année pour une pluviométrie très faible (< 200 mm). Pour les 10 dernières années (1999/2008), on note une évaporation moyenne annuelle de 2 591 mm, tandis que les précipitations n'ont pas dépassé les 156 mm. Cette disproportion entre précipitations et évaporation fait que l'air des couches superficielles du sol est toujours complètement desséché (fig. 5).

Figure 5 : Précipitations moyennes mensuelles (période 1999-2008)



Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Legris (1970) (fig. 6) montre clairement que la période sèche de la région de Biskra s'étale sur toute l'année.

Figure 6 : Diagramme ombrothermique du site de Biskra (1999-2008)



Les vents sont des phénomènes continentaux majeurs en régions arides. Leurs vitesses peuvent atteindre 27,8 m.s⁻¹. Les vents de sable peuvent obscurcir l'atmosphère des journées entières. Les particules minérales soulevées jusqu'à 1 500 m d'altitude peuvent être transportées sur de grandes distances. La région de Biskra subit aussi le Sirocco, vent desséchant qui accentue encore l'évaporation.

3. Matériel et méthodes

Les expertises de chaque CET se sont appuyées sur le guide d'expertise de l'Ademe (fig. 2) qui comprend tous les éléments indispensables pour l'évaluation du site d'enfouissement et qui repose sur 21 paramètres de suivi d'évaluation répartis en quatre thèmes : déchets entrants, déchets stockés, conditions extérieures et exploitation (Aina, 2006).

Tableau 2 : Paramètres d'expertise des CET

Problématique fonctionnelle	N°	Paramètres d'analyse
Déchets entrants		
<i>Nature (caractérisation)</i>	1	Caractérisation physique
	2	Caractérisation chimique de base
	3	Teneur en eau
	4	Densité
<i>Flux et Origine</i>	5	Origine et flux des déchets entrants
Déchets stockés		
<i>Comportement mécanique</i>	6	Tassements
<i>Comportement hydraulique</i>	7	Comportement des déchets à l'eau
	8	Perméabilité
	9	Bilan hydrique et production de lixiviats
	10	Composition des lixiviats
<i>Comportement biologique</i>	11	Mesure de production de gaz
	12	Calcul de production de gaz
	13	Composition du biogaz
	14	Potentiel méthanogène des déchets stockés
	15	Température
Conditions extérieures		
	16	Milieu souterrain
	17	Milieu naturel et hydrographie
	18	Environnement humain et réglementaire
	19	Contexte général du stockage des déchets
Exploitation		
	20	Aménagements fonctionnels et suivi d'exploitation
	21	Coûts d'exploitation

Les paramètres suivis dans cette étude sont : pour les déchets solides urbains (DSU), la caractérisation physique et chimique, la densité, l'humidité et la capacité de rétention ; et pour le lixiviat, le bilan hydrique et la composition chimique.

3.1 Caractérisation physique des DSU

La connaissance quantitative et qualitative des déchets solides et leur traitement sont de nos jours des questions de première importance. La caractérisation des déchets permet justement d'évaluer au préalable leur potentiel risque pour le milieu récepteur et de choisir le mode de traitement optimal le plus approprié (Aloueimine S.O., 2006). Pour une meilleure représentativité des échantillons, ces derniers ont été sélectionnés à partir des différents secteurs d'une manière aléatoire (chaque camion correspond à un secteur bien défini). La quantité de déchets prélevée pour chaque campagne est d'environ 500 kg. Le tri est effectué dans un local couvert à l'aide d'une table de tri en acier galvanisé de dimensions 2 x 1 m avec 2 cribles de 100 et 30 mm (mailles rondes) et un bac de récupération des fines inférieures à 30 mm. Le tri a concerné neuf catégories de déchets à savoir : déchets putrescibles, papiers et cartons, textiles, plastiques, verres, combustibles non classés (CNC), incombustibles non classés (INC), déchets spéciaux et éléments fins. La norme MODECOM modifiée a été appliquée dans ce but. Elle permet de déterminer quatre fractions de granulométrie : > 100 mm, entre 30 et 100 mm, entre 10 et 30 mm et < 10 mm.

L'expertise de chaque site a porté sur une année correspondant à quatre ou cinq campagnes de prélèvement et d'analyse. Les campagnes se sont déroulées entre avril 2006 et mars 2007 pour le CET d'Ouled Fayet (Alger), et entre mai 2008 et mars 2009 pour le CET de Biskra. Les mêmes matériels et méthodes ont été utilisés sur les deux sites d'Ouled Fayet (Alger) et de Biskra.

3.2 Analyses chimiques

3.2.1 Sur les déchets solides

Sur les déchets solides, ont été mesurés les paramètres suivants : la matière organique par la perte au feu à 550 °C, l'humidité et la matière sèche par séchage dans une étuve à 80 °C (Aina, 2006).

3.2.2 Sur les lixiviats

Des analyses chimiques ont été effectuées pour déterminer la composition chimique des lixiviats et suivre leur évolution (Damien A., 2004). Le but recherché est la détermination de la matière organique et de la matière minérale, des paramètres pH, DCO, DBO₅ et des teneurs en carbone, azote, potassium, chlore, soufre, métaux lourds, hydrocarbures. Les différents protocoles sont conformes aux normes AFNOR.

3.3 Bilan hydrique

Le bilan hydrique d'un site permet de définir le cycle de l'eau dans un CET et d'appréhender son fonctionnement global. Il offre notamment la possibilité d'évaluer et de contrôler la production de lixiviat, de dimensionner les bassins de récupération et les besoins de traitement. Pour l'estimation des quantités de lixiviats générés par les CET d'Alger et de Biskra, le modèle du bilan hydrique le plus usité dans la littérature (El-Fadel et al., 1997) a été utilisé. Le tableau 3 ci-dessous résume les flux entrants et sortants dans une décharge pour une période donnée (Aina, 2006). L'équation de base du bilan hydrique s'écrit comme suit :

$$L = (P + E_D + R_1 + B) - (R_2 + ETR + G + I) \pm \delta S$$

Tableau 2 : Flux entrants et sortants dans une décharge

Flux reçus	Flux rejetés
P (mm): quantité de pluie tombée sur le site	Eaux de ruissellement R ₂ (du site vers l'extérieur)
E _D (mm): eau apportée par les déchets	Eau transpirée et évaporée ETR (directement ou en raison de l'élévation de T° due à l'évolution biologique (*))
R ₁ (mm): eaux de ruissellement (de l'extérieur du site vers l'intérieur)	Perte d'eau sous forme de vapeur associée aux biogaz G
B (mm): production d'eau résultant de réactions biochimiques	I (mm) : eaux d'infiltration dans le substratum Variation du stock d'eau qui dépend de la capacité de rétention des déchets, elle-même fonction du tassement des déchets $\pm \lambda S$

(*) : En présence de couverture végétale, il faut tenir compte de l'évapotranspiration

Les données climatiques pour les deux sites sont récoltées à partir des stations météorologiques situées à Dar El Beida (Alger) et Biskra (aéroport) dont les coordonnées sont :

Pour Dar El Beida (Alger) :

— station météorologique 603900 (DAAG), — latitude 36,68 N, longitud: 3,25 E, — altitude 25 m.

Pour Biskra (aéroport) :

— station météorologique 605250 (DAUB), — latitude 34,8 N, longitude 5,73 E, — altitude 87 m.

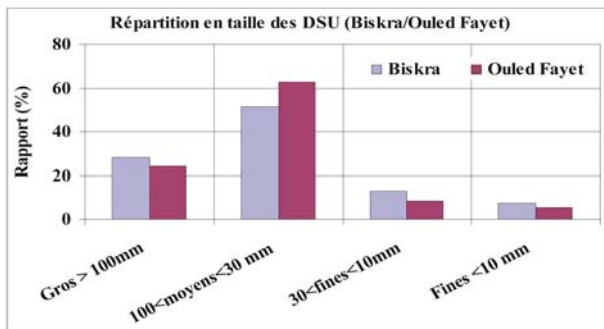
4. Résultats et analyses

4.1 Caractérisation physique des déchets entrants

Le tri par catégorie de chaque fraction (grosse, moyenne et fine) a permis d'obtenir la composition des déchets entrants dans les centres d'enfouissement technique. Il s'agit d'une première évaluation expérimentale des déchets produits dans ces deux villes. Les résultats sont exprimés en pourcentage massique par rapport à la masse globale des déchets bruts prélevés.

Du point de vue de la taille des déchets destinés à être enfouis, les résultats obtenus durant les différentes campagnes ne montrent pas de grandes différences entre les deux sites (fig. 7). On remarque par ailleurs, une prédominance des déchets de taille moyenne (entre 30 et 100 mm) dans les deux sites. Cette fraction se situe entre 51 et 62 %.

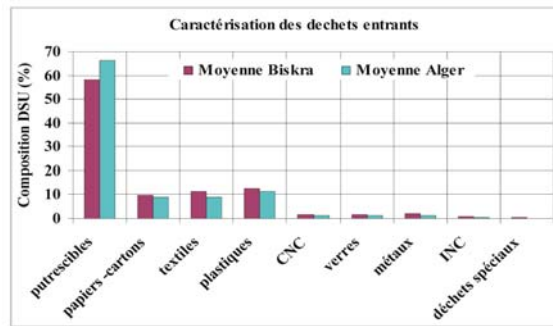
Figure 7 : Granulométrie des DSU reçu sur les CET d'Alger et de Biskra (moyenne statistique des résultats obtenus sur les deux sites)



Pour ce qui est de la composition des déchets (fig. 8), les putrescibles représentent la fraction la plus importante dans les deux sites. On trouve très peu de métaux et de ferrailles. Ces derniers sont récupérés à la source.

La proportion des putrescibles pour Ouled Fayet - Alger (66 %) est néanmoins plus importante que celle de Biskra (57 %), ce qui montre l'effet significatif des facteurs des zones d'études et des interactions entre climat et régime alimentaire. La consommation de légumes secs et pâtes est plus importante dans les régions du Sud que dans les régions du Nord. Les proportions des déchets d'emballages (plastiques, papiers et cartons) et des textiles sont comparables. Leur progression est de plus en plus perceptible dans les deux sites.

Figure 8 : Composition des DSU reçus sur les sites d'Alger et de Biskra

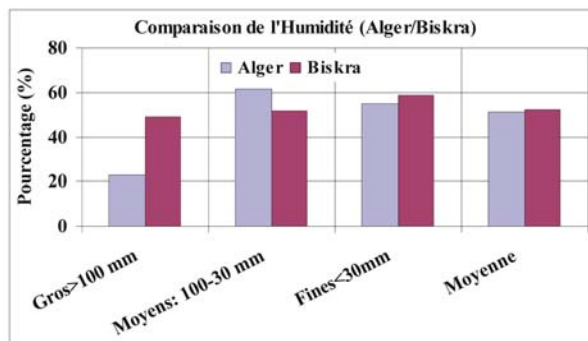


Pour la détermination de la densité des déchets entrants, les mesures ont été réalisées selon deux méthodes. La première a consisté à peser des récipients de 10 litres de volume. Le calcul a été réalisé sur une moyenne statistique d'une vingtaine de mesures. Pour la deuxième méthode, les mesures sont réalisées directement sur des camions de transport après pesage au pont bascule (Garrido et al., 1986). On note que dans les deux sites, la densité des déchets entrants se situe entre 0,31 et 0,35 T.m⁻³.

Dans le casier d'enfouissement, après compactage (environ cinq passages d'un compacteur de 30 T), cette densité peut atteindre 0,7 T.m⁻³ avec un taux de compactage d'environ 60 %.

L'humidité des déchets (H %) reste assez élevée pour les deux sites (fig. 9). La moyenne statistique de l'humidité de toutes les fractions est de l'ordre de 51 % pour les déchets entrants sur le site d'Ouled Fayet (Alger) et 52,5 % pour Biskra.

Figure 9 : Humidité des DSU reçus à Alger et Biskra



La teneur en matière organique dans la fraction des putrescibles reste prépondérante pour les deux sites. Elle est cependant beaucoup plus significative pour les fines < 30 mm sur le CET d'Ouled Fayet (Alger) avec 74 %, alors qu'elle est à peine de 58 % sur le CET de Biskra. Nous considérons que ces résultats sont en accord avec le lieu géographique, le climat, la saison, le niveau de vie de la population et le régime alimentaire. Ces facteurs favorisent la forte teneur en putrescibles et donc une teneur élevée en humidité.

Pour calculer l'aptitude des déchets à retenir ou à relarguer l'eau dans des conditions de stockage (capacité de rétention), la manipulation a consisté à mettre dans des fûts de 100 litres une quantité de déchets bruts. On injecte de l'eau dans le fût jusqu'à immersion complète (Orta De Velasquez T. et al., 2003). On calcule la quantité d'eau relarguée naturellement sur plusieurs périodes de temps (1 heure, 10 heures, 24 heures, 48 heures, etc.) jusqu'à l'arrêt définitif de l'écoulement de l'eau. Les différents essais réalisés sur les déchets bruts entrants dans les CET ont donné une capacité de rétention se situant entre 24 et 28 % pour Biskra, et environ 30 % pour Alger.

4.2 Analyses chimiques et paramètres de pollution

Les analyses chimiques réalisées sur les lixiviats générés par les casiers en cours d'exploitation montrent la présence de matière organique biodégradable malgré un début de ralentissement de la dégradation.

Les principaux paramètres DCO, DBO₅ et teneurs en métaux lourds indiquent une forte pollution engendrée par ces lixiviats. En effet, l'ensemble des résultats obtenus montre un dépassement par rapport aux normes de rejets dans un milieu récepteur naturel (tab. 2)

Tableau 2 : Indice de contamination des milieux par les lixiviats des deux CET

Paramètre	Unité	Normes	CET O. Fayet (Alger)	IC	Impacts sur le milieu
pH	u.pH	6,5 - 8,5	7,9 - 8,1	/	sans effets nuisibles
DBO ₅	mgO ₂ .l ⁻¹	35	900 - 1 400	25,7 - 40	zone à risque
DCO	mgO ₂ .l ⁻¹	120	5 472 - 4 608	45,6 - 38,4	zone à risque
DBO ₅ / DCO			0,2 - 0,3	/	
Fe	mg.l ⁻¹	3	442	147,3	zone à risque
Mn	mg.l ⁻¹	1	400	400	zone à risque
Cd	mg.l ⁻¹	0,2	0,03	0,15	sans effets nuisibles
Cr	mg.l ⁻¹	0,5	0,26	0,52	milieu pollué
Cu	mg.l ⁻¹	0,5	0,16	0,32	sans effets nuisibles
Ni	mg.l ⁻¹	0,5	0,22	0,44	sans effets nuisibles
Pb	mg.l ⁻¹	0,5	0,63	1,26	sans effets nuisibles
Zn	mg.l ⁻¹	3	1,30	0,43	sans effets nuisibles
Hg	mg.l ⁻¹	0,01	0,1	10	milieu pollué
Paramètres	Unité	Normes	CET Biskra	IC	Impacts sur le milieu
pH	u.pH	6,5 - 8,5	6,8 - 8,2	/	sans effets nuisibles
DBO ₅	mgO ₂ /l	35	1 400 - 1 900	40 - 54,3	zone à risque
DCO	mgO ₂ /l	120	1 845,5 - 7 710	15,3 - 64,3	zone à risque
DBO ₅ / DCO			0,75 - 0,25		
Fe	mg.l ⁻¹	< 3	1,1	0,37	sans effets nuisibles
Cd	mg.l ⁻¹	< 0,2	1,1	5,5	milieu pollué
Cu	mg.l ⁻¹	< 0,5	54	108	zone à risque
Ni	mg.l ⁻¹	< 0,5	58	116	zone à risque
Pb	mg.l ⁻¹	< 0,5	20	40	zone à risque
Zn	mg.l ⁻¹	< 3	0,18	0,06	sans effets nuisibles

Pour évaluer les impacts sur le milieu naturel, l'indice de contamination (IC) de chaque CET a été calculé. Ce paramètre est le résultat du rapport des valeurs moyennes des analyses effectuées pendant l'étude aux valeurs des normes algériennes de rejet dans un milieu naturel récepteur (tab. 2) (IC = résultat/norme) :

- quand IC < 3 : aucun effet sur milieu naturel ;
- quand 3 < IC < 10 : zone polluée ;
- quand IC > 10 : zone à risque (danger).

Ainsi, selon le tableau 2, les analyses réalisées sur les lixiviats montrent pour la plupart des paramètres (DCO, DBO₅, métaux lourds) un indice de contamination > 10, ce qui confirme le risque que peuvent engendrer ces jus polluants en cas de rejet dans le milieu naturel sans traitement. On note aussi la présence de métaux lourds dont certains en grandes quantités tels que Cd, Cu, Ni et Pb dans le lixiviat du CET de Biskra, et Pb et Hg dans celui d'Ouled Fayet (Alger).

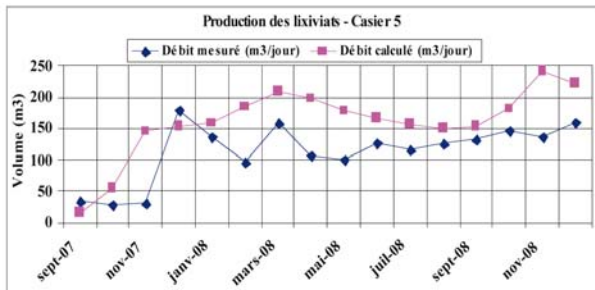
4.3 Production de lixiviat

4.3.1 CET d'Ouled Fayet (Alger)

Des mesures de débit ont été effectuées entre septembre 2007 et décembre 2008, à raison de deux mesures par semaine, notamment pour les lixiviats drainés du casier 5. Ces mesures montrent une fluctuation en fonction des saisons mais aussi en relation avec la quantité et la qualité des déchets déversés (fig. 10).

Le pic est enregistré au mois de décembre avec un débit de plus de 179 m³/jour. La moyenne journalière durant la période entre septembre 2007 et décembre 2008 est d'environ 114 m³/jour. Pour le calcul théorique (Aina, 2006), en plus des données climatiques, les principaux paramètres utilisés en relation avec l'eau sont : l'humidité des déchets bruts, la capacité de rétention des déchets stockés et la densité des déchets stockés.

Figure 10 : Bilan hydrique du casier 5 d'Ouled Fayet - Alger



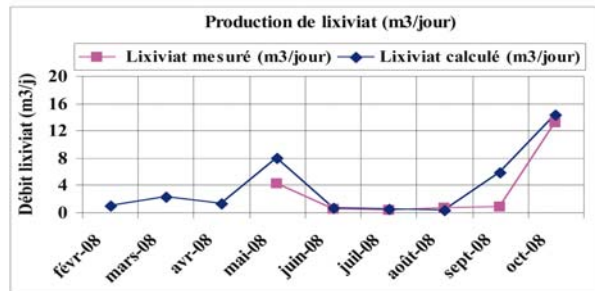
On remarque que le volume de lixiviat généré par les déchets stockés dans le casier, qu'il soit mesuré ou calculé, est dans les deux cas assez important (entre 114 et 160 m³.j⁻¹). Les deux courbes présentent à peu près la même allure, avec une légère différence entre les mesures expérimentales et le calcul théorique. Cette différence est assez prononcée entre février et juin, ce qui peut s'expliquer par trois raisons essentielles :

- problèmes de drainage (système non performant) ;
- fréquence de mesures insuffisante (deux fois par semaine) ;
- approximations du modèle théorique du bilan hydrique.

4.3.2 CET de Biskra

La production des lixiviats sur le CET de Biskra reste relativement faible. L'évaporation extrême et le déficit en pluviométrie sont à l'origine de cette déficience de production de lixiviat. Selon Bagchi (1994), même en absence d'infiltrations d'eau, un petit volume de lixiviat sera toujours généré à cause des réactions biochimiques de dégradation de la masse de déchets. Les résultats du suivi expérimental et le calcul théorique sont assez proches, à l'exception des résultats du mois de septembre, où l'écart entre les deux valeurs est significatif (fig. 11). On note aussi, comme pour le site d'Ouled Fayet (Alger), que les valeurs théoriques sont légèrement supérieures aux valeurs expérimentales.

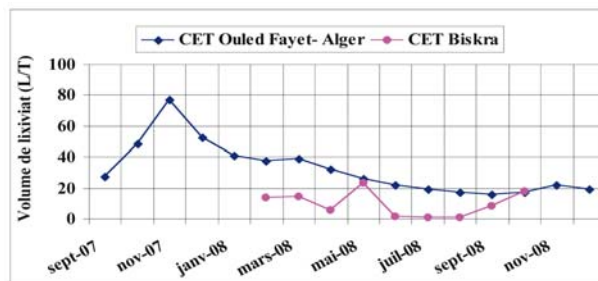
Figure 11 : Bilan hydrique du casier 2 du CET de Biskra (m³/jour)



4.3.3 Comparaison Alger / Biskra

La production des lixiviats est tributaire des données climatiques (pluviométrie et température) mais aussi de la quantité et de la qualité des déchets enfouis (densité, humidité...). Pour le CET d'Ouled Fayet, la production moyenne de lixiviat calculée est d'environ 160 m³/jour, mais elle ne dépasse pas 4 m³/jour pour celui de Biskra. On retrouve les mêmes écarts pour ce qui est de la quantité de lixiviat par rapport à la quantité de déchets enfouis : plus de 31 litres/tonne pour le CET d'Ouled Fayet (Alger), et à peine 9,5 litres/tonne pour celui de Biskra (fig. 12). L'évaporation et le déficit en pluviométrie sont à l'origine de cette déficience de production de lixiviat au niveau de la ville de Biskra. Les fortes précipitations du mois d'octobre sur la ville de Biskra ont augmenté considérablement le volume des lixiviats (18 litres/tonne).

Figure 12 : Volume des lixiviats en relation avec la quantité de déchets



5. Conclusion et recommandations

Un centre d'enfouissement technique est un ensemble dont la disposition a fait l'objet d'études d'ingénierie particulièrement développées. Sa durée de vie s'étend bien au-delà de la date d'arrêt de son exploitation. La stabilisation des déchets, c'est-à-dire leur évolution vers un état physico-chimique définitif et inaltérable, débute dès leur dépôt et se poursuit souvent pendant plusieurs décennies.

L'expertise entreprise sur les deux CET d'Alger et de Biskra a permis de mettre en évidence des difficultés liées à la conception et aux conditions d'exploitation des deux sites, qui peuvent se résumer comme suit :

- Colmatage des drains des casiers : les drains en PVC sont cassés par le poids des déchets ou colmatés à cause des trous en trop petit nombre ; le massif drainant à base de gravier concassé à dominance calcaire, lorsqu'il est en contact avec les lixiviats, crée une pellicule et réduit le processus de drainage ;
- Faible perméabilité de la couche de terre utilisée comme couverture intermédiaire ;
- Sous-dimensionnement des bassins de rétention et absence de traitement des lixiviats avant leur rejet dans la nature.

Le rejet direct des lixiviats constitue un grand risque sur toutes les composantes du milieu naturel par la charge organique polluante et par la teneur en métaux lourds qui dépasse les normes de rejet. Un plus grand soin doit donc être apporté afin que les pollutions susceptibles d'être générées dans le milieu environnant soient évitées. Ce soin s'obtient par une conception adaptée : redondance des étanchéités, drainage efficace et contrôle permanent durant les périodes d'exploitation et de post-exploitation.

Parmi les recommandations que nous suggérons pour une gestion plus efficace et pérenne des centres d'enfouissement :

- prévoir des systèmes de drainage autonomes par casier,
- utiliser des drains en PEHD de diamètre ≥ 300 mm et un massif drainant en silex roulé de diamètre 30/40,
- mettre sur site une station de mesures météo,
- dimensionner le bassin de rétention des lixiviats en relation avec le bilan hydrique et prévoir le traitement du lixiviat sur site,
- installer des piézomètres de contrôle sur le site.

Bibliographie

ADEME (1993). MODECOM, Méthode de caractérisation des ordures ménagères. Guide de l'ADEME, coll. « Connaître pour agir », 61 pages.

ADEME (1999). Les installations de stockage de déchets des ordures ménagères : Techniques et recommandations. ADEME Editions, Paris, 106 pages.

Aina M. (2006). Expertises des centres d'enfouissement des déchets urbains dans les PED : contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation sur sites. Thèse de doctorat, Université de Limoges.

Aloueimine S.O. (2006). Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat, Université de Limoges.

Agence nationale des ressources hydriques, ANRH (1986). Ressource en eau et en sol de l'Algérie, Rapport.

Bagnouls F. et Gausson H. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. Doc. Cartes. Prod. Végét., III, I, VIII, Fac. Sc., Toulouse. 47 pages.

Bagnouls F. et Legris P. (1970). La notion d'aridité en Afrique du Nord et au Sahara. Trav. Forest. Fac. Sc. Toulouse, II p, I carte.

Bagchi, Amalendu (1994). Design, Construction, and Monitoring of Landfills. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.

Couturier C. (2003). Du centre d'enfouissement au bio-réacteur, SOLGARO, juin 2003. 8 pages.

Damien A. (2004). Guide de traitement des déchets, 3^e édition, Dunod, 2004, 431 pages.

El-Fadel et al. (1997). Environmental Impacts of Solid Waste Landfill. Journal of Environmental Management 50, 1-25.

Gillet R. (1985). Manuel de gestion des déchets solides. Livre I « Les déchets urbains », éd. Organisation mondiale de la santé, bureau régional de l'Europe, Copenhague.

Garrido J.-L., Leroy J.-B. (1986). Techniques et sciences municipales, I, 31-34, 1986.

Guettala A., Abibsi A., and Houari H. (2006). Durability Study of Stabilized Earth Concrete Under Both Laboratory and Climatic Conditions Exposure, Construction and Building Materials, Elsevier, 20, 119-127.

Kehila Y., Matejka G., Gourc J.-P. (2006). Apport des géomembranes dans l'étanchéification des Installations de Stockage de Déchets (ISD) en Algérie. 6^{es} Rencontres Géosynthétiques, 12-14 juin 2006, Montpellier, France.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE 2003). Manuel d'information sur la gestion des déchets solides ménagers, février 2003, 240 pages.

Orta De Velasquez T., Cruz-Rivera R., Rojas-Valencia N., Monje-Ramírez I. and Jorge Sanchez-Gomez J. (2003). Determination of Field Capacity of Municipal Solid Waste With Surcharge Simulation, Waste Management & Research, 21, pp. 137-144.

Ozenda P. (1991). Les relations biogéographiques des montagnes sahariennes avec la région méditerranéenne. Revue de Géographie Alpine, 1991, vol. 79, n° 1, pp. 43-53.