

وزارة التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

16x

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

***Caractérisation du Lixiviat de La
Decharge de Oued-Smar
et
Estimation de Son Impact Sur La
Nappe Souterraine***

Proposé par :
Dr Kerbachi

Etudié par :
Attou Fatiha

Dirigé par :
Dr R Kerbachi
M^{elle} L . Belkacemi

PROMOTION : JUIN 1990

RESUME

Le lixiviat de décharge étant un liquide très chargé en matières polluante présente d'énormes risques pour les eaux souterraines.

Le mécanisme de la pollution d'une nappe par un dépôt d'ordures peut se décomposer en trois phases:

- Lessivage des ordures par les précipitations , ou par la nappe elle même.
- Migration du lessivat résultant à travers la zone non saturée existant entre le fond du dépôt et la nappe.
- Propagation de la pollution au sein de la nappe.

Pour empêcher la pollution des nappes par les dépôts d'ordures, on peut jouer sur trois facteurs:

- Mode et site de la décharge , de façon à y créer des conditions aérobies.
- Nature des terrains sous-jacents , qui doivent servir de zone tampon.
- Situation de décharge par rapport à l'écoulement de la nappe

ملخص:

إن لسيفيا مقبرة الأوساخ سائل محمل بمواد ملوثة تمثل خطورة على المياه الباطنية. عملية التلوث هذه

تمر بثلاثة مراحل:

- تجريد الأوساخ من عواملها القابلة للتحويل.
- انتقال اللسيفيا عبر الطبقة الغير مصبغة بالمياه.
- انتشار التلوث في المياه الباطنية.

لمنع تلوث المياه الباطنية عن طريق مقبرة الأوساخ يجب الأخذ بعين الاعتبار ثلاثة عوامل:

- طريقة استغلال مقبرة الأوساخ
- طبيعة الطبقة السفلى الموجودة تحتها.
- موقعها بالنسبة لاتجاه سيلان المياه الجوفية

— D E D I C A C E S —
=====

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

• A mes parents

• A mes frères et soeurs

• A tous mes amis (es)

...EN TEMOIGNAGE DE PROFONDE AFFECTION...
=====

- R E M E R C I E M E N T S -

Avant de commencer ce projet de fin d'étude, il m'est agréable d'exprimer mes remerciements à:

- Monsieur R.KERBACHI , Docteur et chargé de cours à l'école nationale polytechnique (E.N.P) pour avoir bien voulu diriger ce travail, il a droit à toute ma reconnaissance pour la grande patience dont il a fait preuve, les conseils l'aide et les encouragements qu'il m'a prodigué. Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère gratitude et profond respect.
- Mademoiselle M.BELKACEMI co-promotrice, pour le devouement dont elle a fait preuve dans l'élaboration de ce travail.
- Monsieur B.M.UPPALURI chargé de cours au département d'hydraulique à L'E.N.P.
- Monsieur A.SEMAR maitre assistant au département de pédologie à l'I.N.A.
- Monsieur M.O.MAKHOUKH ingénieur au C.P.V.A.
- Monsieur Hakib chargé de cours à l'E.N.P.

Mes remerciements vont également à l'adresse du président et des membres de jury pour avoir bien voulu me faire l'honneur de juger ce travail.

Je tiens aussi à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce document; notamment, M^{me} ZAOUCHE (DHW) , Adra, Soheir, Dalila, Naima, yucef, Houria, Abdennour, et tout le personnel du département Genie de l'environnement.

INTRODUCTION ET BUT DE L'ETUDE	1
--------------------------------------	---

PREMIERE PARTIE :

DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

<u>CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DECHETS</u>	4
---	---

1.1. - Classification des déchets	4
---	---

1.2. - Quantités et variabilité des déchets générés	5
---	---

1.3. - Aperçu sur la gestion des déchets solides	6
--	---

1.4. - Paramètres caractérisant les déchets	8
---	---

1.4.1. - Paramètres physiques	8
-------------------------------------	---

1.4.2. - Paramètres physico-chimiques	9
---	---

1.5. - Aperçu général sur les méthodes d'élimination et de traitement des déchets	9
--	---

CHAPITRE II : LA MISE EN DECHARGE

2.1. - Introduction	12
---------------------------	----

2.2. - Les différents types de décharge	12
---	----

2.2.1. - Décharge brute	13
-------------------------------	----

2.2.2. - Décharge contrôlée traditionnelle	13
--	----

2.2.3. - Décharge avec broyage préalable des déchets	13
---	----

2.3. - Choix des sites d'implantation	13
---	----

2.4.1. - Examen hydrogéologique.....	15
2.4.2. - Etude de l'homogénéité	15
2.4.3. - Mesure de la perméabilité	15
2.5. - Classification des sites	15
2.6. - Choix et critères de sélection pour l'admissi- bilité d'un déchet en décharge	17
2.6.1. - Siccité	17
2.6.2. - Potentiel de solubilisation	17
2.7. - Pollutions engendrées par les décharges	19
2.7.1. - Pollution atmosphérique	19
2.7.2. - Pollution des eaux	20

CHAPITRE III : LE LIXIVIAT

3.1. - Définition	21
3.2. - Le bilan hydrique	22
3.3. - Influence du climat et de l'hydrogéologie sur le lixiviat.....	23
3.4. - Interférences lixiviat / sous sol	24
3.4.1. - Phénomènes physiques.....	24
a/ - Adsorption	
b/ - Retention capillaire	
c/ - Echange d'ions	
3.4.2. - Phénomènes chimiques : Précipitation de sels et formation de gels	27
3.4.3. - Phénomènes biologiques : La biodégra- dation	28

3.5. - Impact des interférences sur les particules argileuses	28
3.6. - Influence de l'interaction entre le sol et les espèces inorganiques sur la composition finale du lixiviat	29
3.6.1. - Comportement des ions	29
3.6.2. - Comportement des métaux lourds	29
3.7. - Propagation de la pollution dans la nappe	32
3.8. - Influence du mode d'exploitation sur les lixiviats.	
3.8.1. - Influence de la surface d'exploitation et de la hauteur des déchets sur les lixiviats	33
3.8.2. - Influence du compactage sur le lixiviat....	34
3.8.3. - Influence de la couverture sur le lixiviat	34

CHAPITRE IV : EVOLUTION DES DECHETS, INTERACTIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET BIODEGRADATION.

4.1. - Réactions entre les déchets	36
4.2. - Effet de la biodégradation sur le lixiviat.....	38
4.2.1. - Mécanismes et réactions du processus biologique de la dégradation.....	39
4.2.2. - Conditions régissant la biodégradation de la matière organique	42
4.3. - Impact des ordures ménagères sur les déchets admissibles en classe I.....	43
4.4. - Suivi du contenu organique de la décharge en fonction du temps	49
4.5. - Suivi des composés minéraux	49

DEUXIEME PARTIE

EXPLOITATION DES DONNEES GEOLOGIQUES

ET HYDROGEOLOGIQUES ET ETUDE ANALYTIQUE.

CHAPITRE I. : DECHARGE DE OUED SMAR

1.1. - Historique	52
1.2. - Situation géographique	52
1.3. - Impact sur l'environnement	54
1.4. - Nature et origine des déchets rejetés dans la décharge	54
1.4.1. - Déchets ménagers	55
1.4.2. - Déchets industriels	55
1.4.2.1. - Déchets industriels dangereux	55
1.4.2.2. - Les autres déchets	55
1.5. - Composition physique des ordures ménagères de la ville d'Alger	56

CHAPITRE II : ETUDE ET ANALYSE DES DONNEES GEOLOGIQUES ET
HYDROGEOLOGIQUES DE LA ZONE DE OUED-SMAR.

2.1. - Introduction	59
2.2. - Nappe souterraine superficielle de Oued-Smar	59
2.2.1. - Hydrodynamisme de la nappe.....	61
2.2.2. - Détermination de la profondeur de la surface des eaux souterraines.....	
2.3. - Aperçu géologique sur la zone d'étude.....	65

CHAPITRE III : CARACTERISATION DES LIXIVIATS ET ANALYSES
DES EAUX DE FORAGE .

3.1. - Introduction 73
3.2. - Points de prélèvement 74
3.3. - Paramètres étudiés 75
3.4. - Analyse des lixiviats 75
3.5. - Analyse des eaux souterraines 83
3.6. - Interprétation des résultats 90
 3.6.1. - Le lixiviat 90
 3.6.2. - Les eaux souterraines 94

CONCLUSION GENERAL

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE

- INTRODUCTION ET BUT DE L'ETUDE -

Il y a encore quelques décennies, l'homme ne se souciait guère de la protection de l'environnement ; il pensait que le ciel était si pur et vaste que rien ne pouvait en altérer le bleu, que les fleuves étaient si gorgés d'eau que rien ne viendrait jamais en modifier la limpidité, que les océans, les mers et la terre étaient si étendus qu'ils pourraient constituer le réceptacle éternel de tous les déchets.

Aujourd'hui, le monde a compris qu'il n'en était rien de tout cela. En effet, la pollution bien que n'étant pas un phénomène nouveau prend actuellement des proportions telles qu'une véritable lutte anti-pollution a été déclarée par de nombreux pays. L'homme en fait même une de ces principales préoccupations.

Notre pays à l'instar du reste du monde connaît de nombreux problèmes de pollution et de nuisances, il connaît à la fois les problèmes des pays développés et ceux des pays en voie de développement.

Parmi toutes les pollutions qui nous agressent, celle de la décharge de Oued-Smar représente de loin l'une des plus visibles et des plus gênantes, car elle touche l'atmosphère, le sol et les eaux souterraines. Cette décharge qui reçoit les ordures ménagères et industrielles ne fait l'objet d'aucune attention particulière par les autorités communales qui ne procèdent pas à un contrôle systématique de la mise en dépôt des déchets. Cette situation a généré une décharge sauvage avec tous les inconvénients et la pollution qui en résulte.

Aussi nous nous attachons dans ce travail et en continuité à des travaux antérieurs (1) et (2) à étudier une partie de cette pollution, en l'occurrence l'étude des percolats ou lixiviats de déchets prélevés sur site, ainsi que leurs incidences sur les eaux souterraines.

L'étude sera complétée par une caractérisations géologiques et hydrogéologique du site.

- PREMIERE PARTIE -

DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES DECHETS :

On appelle généralement déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou tout bien meuble abandonné que son détenteur destine à l'abandon (3).

1.1. - CLASSIFICATION DES DECHETS :

D'une façon générale, les différentes catégories de déchets disponibles se recoupent et ne sont pas toujours nettement discernables. Il est néanmoins déjà possible de les différencier à partir d'un ou de plusieurs éléments principaux qui pourraient se baser sur :

- les caractéristiques physiques
- les caractéristiques chimiques
- le caractère toxique.

Dans le tableau 1 nous présentons les diverses possibilités de classification avec des exemples caractéristiques (1).

TABLEAU 1 - CLASSIFICATION DES DECHETS (1)

<p>CLASSIFICATION SELON L'ETAT PHYSIQUE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Déchets solides : ordures ménagères, déchets des métaux, déchets inertes de caoutchouc et plastiques paille, - Boues : de stations de traitement des eaux d'origine diverse (traitement de surface, d'hydrocarbures, de peinture,) - Déchets liquides ou pateux : goudrons, huiles, solutions résiduaires, divers, - Déchets gazeux : goudrons, huiles usagées, solutions résiduaires,
<p>CLASSIFICATION SELON LA NATURE CHIMIQUE</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Déchets acides : solutions résiduaires, acides divers (HCL, H₂ SO₄, HNO₃, . . .) acides organiques, acides à l'état de gaz. - Déchets basiques : soude et potasse résiduaires, liqueurs ammoniacales, chaux résiduaires, . . . - Sels résiduaires : sulfate de calcium, carbonate de calcium, sulfate ferreux, . . . - Métaux : ferrailles, carcasses de véhicules, déchets de métaux précieux, câbles, - Déchets organiques : solvants usés, huiles usagères, boues d'hydrocarbures, liqueurs résiduaires phénols, - Déchets polymériques : déchets de caoutchouc et de plastiques. - Déchets minéraux : déchets silicieux, déchets de silicates ou silico-aluminates, déchets de calcaires.
<p>CLASSIFICATION PAR SOURCE DE PRODUCTION</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Activités ménagères : ordures ménagères, déchets encombrants (appareils - électroménagers hors d'usage) - Distribution et activité de service : déchets commerciaux (emballages) - Déchets provenant de secteurs secondaires comme les déchets industriels toxiques et dangereux. - Déchets industriels spécifiques : laitiers, scories. - Déchets assimilables aux ordures ménagères : emballages, chiffons, balayures.

1.2. - QUANTITES ET VARIABILITES DES DECHETS GENERES :

Les quantités d'ordures ménagères générées dans une ville dépendent essentiellement :

- de la situation socio-économique (niveau de vie, habitudes et mœurs de la population) ;
- des mouvements plus ou moins importants de la population au cours de l'année : foires, vacances annuelles, etc...
- du mode de conditionnement des denrées et des marchandises.

Les quantités d'ordures produites peuvent s'exprimer en poids ou en volume. Toutefois, en raison de la compressibilité des ordures ménagères, seul le poids constitue une donnée fiable.

Il est important de noter que le poids des ordures ménagères produites par habitant et par jour varie, suivant les différents pays, entre 0,35 Kg/Hab/J dans les pays les moins avancés à 1,1 ou 1,2 Kg/Hab/J dans les grandes villes des pays hautement industrialisés où la consommation est la plus élevée (4).

Pour les grandes villes d'Algérie, nous pouvons nous baser sur les résultats obtenus en 1983 qui sont les suivants : 0,6 à 0,7 Kg/Hab/J pour les quatre grandes villes avec un léger surplus à Alger.

Le tableau 2 présente pour comparaison des taux de déchets dans divers pays.

1.3. - APERCU SUR LA GESTION DES DECHETS SOLIDES :

La résolution de problèmes de gestion des déchets solides nécessite la récolte d'un certain nombre de données :

- données démographiques
- données socio-économiques.

TABLEAU 2 :

PRODUCTION ET DENSITE DES RESIDUS URBAINS
DE DIVERS PAYS (5)

PAYS	PRODUCTION DE RESIDUS URBAINS Kg/Hab/An	DENSITE Kg/M3
ALGERIE	103	329
R.F.A.	200 - 375	330 - 380
ANGLETERRE	210 - 280	120 - 150
BELGIQUE	-	190
BRESIL	84 - 235	-
U.S.A.	210 - 405	280
FRANCE	240 - 325	-
INDE	250 - 385	-
JAPON	-	260
SUISSE	140 - 215	120 - 200

- données quantitatives de production de déchets
- données sur la composition des déchets.

Les buts poursuivis lors d'une telle étude sont :

- la connaissance de la situation actuelle en vue d'élaborer des variantes d'améliorations de collecte et de traitements.

- L'étude de l'évolution des données démographiques et socio-économiques qui permet de déterminer les besoins d'une part, et l'évolution de la situation dans le futur d'autre part.

- La connaissance de la composition des déchets qui est nécessaire lors du choix des variantes de traitement (décharge, compostage, incinération et recyclage) et lors de l'évaluation de leur impact sur l'environnement (pollution du sol, de l'eau et de l'air).

1.4. - PARAMETRES CARACTERISANTS LES DECHETS :

Les paramètres permettant de caractériser les déchets solides urbains et industriels peuvent être classés en :

- paramètres physiques
- paramètres physico-chimiques et biologiques.

1.4.1. - Paramètres Physiques :

Les paramètres physiques comprennent les quantités de déchets solides à collecter et à éliminer ou à traiter ainsi que la densité des déchets solides à la production et après collecte.

La connaissance des quantités de déchets solides produits et leur densité est nécessaire au dimensionnement des systèmes de collecte de valorisation et/ou d'élimination de ces déchets (5).

1.4.2. - Paramètres Physico-Chimiques et Biologiques :

Les paramètres physico-chimiques et biologiques sont :

- la granulométrie
- classe des déchets
- teneur en eau et humidité
- teneur en cendres et matières volatiles
- teneur en azote
- teneur en carbone
- rapport carbone/azote (C/N)
- teneur en phosphore
- autres paramètres.

Pour ces derniers le choix dépendra du but poursuivi et de la précision des données nécessaires.

Exemples :

- teneur en matières organiques dégradables
- teneur en cellulose
- teneur en sel.

1.5. - APERCU GENERAL SUR LES METHODES D'ELIMINATION ET DE TRAITEMENT DES DECHETS :

Le traitement des déchets consiste en un certain nombre d'opérations qui permettent de réduire les risques de pollution et de nuisance qu'ils engendreraient lors d'un contact mutuel entre déchets ou lors d'un contact avec le milieu. Le traitement doit pouvoir s'adapter à l'extrême hétérogénéité et à l'instabilité de la compostion des résidus. De plus il doit viser, dans la mesure du possible, une épargne des ressources naturelles.

En ce qui concerne les déchets solides, les principales méthodes disponibles actuellement pour leur élimination et leur traitement sont : (5)

- la décharge contrôlée ;
- l'incinération ;
- le compostage ;
- le traitement mixte.

En plus de ces méthodes qui sont décrites ci-dessus, il y a lieu de noter l'importance prise ces dernières années par la récupération de certains déchets au niveau des secteurs de consommation et du secteur industriel, en vue de leur recycling dans les processus de fabrication, citons à titre indicatif, les déchets des produits suivants :

- métaux ferreux et non ferreux
- papiers et cartons
- cuir
- textiles
- verres.

La réutilisation de ces produits de récupération permet non seulement de résoudre partiellement un problème de pollution, mais aussi d'économiser des moyens financiers en substituant des déchets disponibles dans le pays à des matières premières "neuves" dont certaines sont importées (cas par exemple du textile, coton, laine, verre, bois). Il reste néanmoins que la réutilisation des produits de récupération est une opération beaucoup plus difficile que l'utilisation de matières premières "neuves" du fait que :

- l'organisation de la collecte de déchets, aptes à être recyclés dans l'industrie, est relativement délicate et demande souvent des moyens importants (installation de tri, installation de broyage, participation de la population, etc...)

- La technologie de la réutilisation des produits de récupération connaît de façon générale un grand retard par rapport à celle de l'utilisation de matières premières "neuves" (exemple : le papier et le verre recyclé sont de qualité moindre).

Tous les modes de traitement présentent des inconvénients et des avantages, le tableau 3 situe la décharge contrôlée par rapport aux autres modes de traitement.

TABLEAU 3 (6)

	DECHARGE CONTROLEE	INCINERATION - COMPOSTAGE OU TRAITEMENT MIXTE
Avantages	<ul style="list-style-type: none">- Procédés de traitement de déchets autonomes.- Grande souplesse d'adaptation aux quantités à traiter.- Valorisation des terrains.	<ul style="list-style-type: none">- Importante réduction du volume des déchets.- Possibilité de valorisation des déchets sous forme de matières ou d'énergie.
Inconvénients ou Contraintes	<ul style="list-style-type: none">- Choix d'un site convenable- Nécessité d'une exploitation rigoureuse.- Solution temporaire (capacité du site)	<ul style="list-style-type: none">- Coûts élevés à l'investissement.- Nécessité d'éliminer les refus de traitement en décharge contrôlée.- Absence de souplesse d'adaptation aux quantités à traiter.

CHAPITRE II

LA MISE EN DECHARGE :

2.1. - INTRODUCTION :

Pendant longtemps, le ramassage des déchets dans les cités, opération qui constituait déjà un progrès par rapport au rejet des déchets sur la voie, ne fût l'objet que d'un entassement sans précaution, à quelques kilomètres hors de l'enceinte des villes. Ce n'est qu'au début du siècle que l'on s'est mis à pratiquer l'enfouissement sanitaire des déchets, notamment en Grande Bretagne où il a pris le nom de "Controlled Tipping". Depuis la seconde guerre mondiale, ce type de procédé s'est développé dans tous les pays industrialisés donnant naissance à un certain nombre de variantes, présentant quelques avantages par rapport au procédé original.

Ainsi, la décharge constitua le stade ultime de la quasi-totalité des processus d'élimination. Mais peut-on alors véritablement parler d'élimination ?

En effet, la mise en décharge n'est en réalité qu'un confinement plus ou moins efficace à caractère évolutif car les dangers présentés par les déchets ne peuvent être définitivement écartés ni maîtrisés.

2.2. - LES DIFFERENTS TYPES DE DECHARGE :

Les décharges étant un moyen principal ou complémentaire de traitement des déchets, apparaissent comme indispensables dans la mesure où elles constituent la seule solution susceptible de recevoir l'ensemble des déchets dans des tonnages importants et de manière continue.

Il existe quatre (04) catégories de décharge :

- la décharge brute et sauvage.
- La décharge contrôlée.
- La décharge contrôlée compactée.
- La décharge de déchets préalablement broyés.

2.2.1. - Décharge Brute :

Elle constitue à déverser directement les déchets soit sur le sol ou sur une ancienne carrière sans prendre de précautions spéciales.

2.2.2. - Décharge Contrôlée Traditionnelle :

Elle constitue en un épandage des déchets sur un front de décharge et à les niveller sur d'assez grandes épaisseurs (environ 2 m) avant de mettre une couche de couverture, actuellement, elle n'est plus guère utilisée en raison d'une part, de certaines nuisances en cours d'exploitation et d'autre part de son applicabilité seulement à des exploitations très importantes. (7)

2.2.3. - Décharge Contrôlée Compactée :

Dans ce type de mise en dépôt les déchets sont constitués en couches d'une épaisseur de 0,8 m, laquelle après compactation, se trouve réduite à 0,4 m ou même à 0,3 m. Les couches compactées sont ensuite recouvertes d'une couche de matériau de couverture. (4).

2.2.4. - Décharge avec Broyage Préalable des Déchets :

Le broyage consiste à réduire la dimension des déchets avant la mise en décharge, et leur confère une densité élevée, l'installation de broyage pouvant être située ou non sur le lieu de décharge. Dans ce cas le compactage devient pratiquement inutile.

En général quelque soit le procédé adopté, l'enfouissement de déchets, dont une grande partie est toujours d'origine organique, peut donner lieu par fermentation ou putréfaction à une pollution biologique importante et ne peut se faire sans précautions très particulières tant au niveau de la conception et l'aménagement du chantier de décharge, qu'au niveau de son exploitation.

2.3. - CHOIX DES SITES D'IMPLANTATION :

Un certain nombre de conditions s'imposent lors du choix des sites d'implantation de décharges contrôlées, il faut par exemple : (1)

- éviter le contact avec les eaux souterraines car les eaux de percolation ou de nappe elle même peuvent solubiliser des produits minéraux ou organiques plus ou moins toxiques.

- Eviter d'implanter des décharges sur des terrains inclinés (pente $>$ 30 %) de façon à éliminer les risques de glissement sur une couche de base détremée.

- Installer des piezomètres en amont et en aval du sens d'écoulement de la nappe afin de suivre régulièrement la qualité des eaux souterraines.

- S'assurer que la nappe a un faible débit pour éviter un éventuel transport trop rapide des matières polluantes.

- Recouvrir la décharge par des matières inertes et perméables pour limiter les volumes des eaux de percolation.

A toutes ces conditions s'ajoutent les contraintes d'occupation des sols et les contraintes de voisinage (8)

2.4. - ETUDE DU SITE :

L'étude du site est basée essentiellement sur l'étude de la perméabilité du sol. La notion d'imperméabilité repose surtout

sur le concept de vitesse de pénétration d'un affluent et de l'épaisseur de la couche dite imperméable séparant le déchet de l'aquifère le plus proche. La perméabilité peut être définie comme étant l'aptitude d'un milieu à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient potentiel (9). Elle s'exprime quantitativement par le coefficient de perméabilité K (coefficient de DARCY) qui possède les dimensions d'une vitesse (m/s).

L'étude globale de la nature d'un sol destiné à former un site de décharge devrait comprendre :

- une reconnaissance hydrogéologique préalable détaillée du site et de ses environs.
- Une étude fine de l'homogénéité des terrains notamment en fond de décharge et sur les flancs.
- La mesure au laboratoire et un site de la perméabilité des formations intéressées. (10)

2.4.1. - Examen Hydrogéologique :

Dans l'examen hydrogéologique il est essentiel de noter l'importance du repérage sur le site des venues d'eaux souterraines et la détermination de la situation du projet par rapport au réseau hydrographique local.

2.4.2. - Etude de l'Homogénéité :

Les méthodes géophysiques généralement utilisées font appel à la densité, la radioactivité, la susceptibilité magnétique, la propagation des ondes, la température et la résistivité. (10)

2.4.3. - Mesure de la Perméabilité :

Le niveau que l'on recherche pour qualifier un sol d'étanche est celui d'une "perméabilité" située entre 10^{-9} m/s et 10^{-11} m/s. Dans les formations à "interstices", la perméabilité dépend de facteurs liés à la nature lithologique de la formation, mais aussi au degré de saturation en eau et à la température (la viscosité décroît si la température augmente).

2.5. - CLASSIFICATION DES SITES :

La classification des sites est exclusivement basée sur la perméabilité des sols. Ainsi il existe trois classes que nous résumons dans le tableau 4 en indiquant les caractéristiques principales correspondantes. (11).

TABEAU 4 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES SITES
DE CLASSE I, II, III -

Catégories de Sites	Valeur Moyenne du Coefficient de perméabilité	Caractéristiques du Site et Critères d'Evaluation	Déchets Industriels Admissibles
Site Imperméable (Classe I)	$K < 10^{-9}$ m/s (sur une épaisseur minimale de 5 m)	<ol style="list-style-type: none"> 1 - Imperméabilité du fond de décharge. 2 - Aptitude du site à un façonnage garantissant les écoulements en fond de décharge vers un point bas. 3 - Aptitude à l'implantation d'un ouvrage de contournement évitant les entrées d'eaux de surface 4 - Aptitude à une couverture en pente favorisant le ruissellement. 	<p>Certains types de déchets spéciaux siltés > 20 % fraction soluble < 10 % et ne dépassant pas certaines concentrations en substances toxiques.</p> <p>Hydrocarbures totaux < 10 % 6 < PH < 8</p>
Site Semi-Perméable (Classe II)	$10^{-6} > K > 10^{-9}$ m/s	<ol style="list-style-type: none"> 1 - Zone non saturée capable d'assurer une épuration des lessivats. 2 - Infiltration potentielle à vitesse modérée. 3 - Intérêt de garantir les eaux souterraines contre les risques de pollution. 	Déchets assimilables aux déchets ménagers.
Site Perméable (Classe III)	$K > 10^{-6}$ m/s	Migration trop importante des lessivats dans le sous-sol constituant un risque aigu de pollution des nappes.	Déchets inertes.

2.6. - CHOIX ET CRITERES DE SELECTION POUR L'ADMISSIBILITE D'UN DECHET EN DECHARGE :

L'admissibilité d'un déchet en décharge suppose la connaissance d'une part de sa teneur en eau qui représente en d'autres termes la siccité du déchet et d'autre part son potentiel de solubilisation, c'est-à-dire la partie du déchet qui est susceptible de passer en solution lors d'un contact avec le milieu aqueux.

2.6.1. - La Siccité :

La valeur de la siccité des déchets entrants sur la décharge est très importante pour l'exploitation elle même de la mise en décharge et ce à deux points de vue : d'une part, une teneur en eau trop importante dans les déchets peut rendre difficile la gestion de l'exploitation en empêchant l'accès des engins sur le site pendant certaines périodes. D'autre part, d'après l'étude des bilans hydriques des flux polluants sur différents sites de décharges, il a été constaté que quelque soit le site étudié, le volume d'effluent recueilli dans une décharge est à peu près proportionnel à la teneur en eau initiale contenue dans les déchets (12).

2.6.2. - Potentiel de Solubilisation :

La connaissance de la fraction immédiatement soluble, c'est-à-dire la fraction dissoute dans la phase liquide du déchet et la fraction du déchet susceptible de se dissoudre plus ou moins rapidement en contact de l'eau, est accessible par des tests de lixiviation qui consistent à mettre le déchet en contact de l'eau dans des conditions les mieux définies possibles (13).

L'appréciation de l'admissibilité se formule ensuite par l'examen des constituants solubilisés. Pour les déchets métalliques par exemple, l'examen portera sur l'étude de la teneur des divers métaux lourds et leur toxicité.

En plus de ces paramètres quantitatifs, il sera utile de compléter cette appréciation par la prise en compte des facteurs suivants :

- Forme Physique du Déchet :

Il est bien évident que, plus le déchet sera solide, plus il présentera un caractère favorable, mais sa capacité à conserver cet aspect solide et surtout compacte devra être observée, ainsi un déchet à caractère théxotropique (c'est-à-dire un déchet qui a la capacité de se transformer dans le sol mais qui peut reprendre sa viscosité première après repos) trop marqué devra être exclu du champ d'admission (10).

- Quantité de Déchet :

Plus un déchet sera en quantités importantes, plus la rigueur dans le respect des critères objectifs devra être observée.

- Périodicité de sa Production :

Une souplesse dans le jugement sera d'autant plus observée quand le déchet est produit épisodiquement et en faibles quantités.

- Solution d'Élimination alternative :

Lors de l'examen de l'admissibilité d'un déchet, il est utile de disposer des renseignements complémentaires suivants :

- existe-t-il d'autres moyens de traitement de ces déchets ?
Dans quelles conditions techniques et économiques ?

- Quelles étaient les ou les destinations précédentes de ces déchets et les inconvénients rencontrés par ces solutions alternatives ?

- Enfin, quelle est la justification du changement de cette destination ?

2.7. - POLLUTIONS ENGENDREES PAR LES DECHARGES :

La mise en décharge de déchets, quelle que soit leur nature s'accompagne de phénomènes complexes relevant des interactions entre les constituants des déchets, les eaux de pluie qui s'infiltrant dans la masse des déchets et le substrat constitutif du site. Ces phénomènes sont à l'origine de deux types de pollution :

- pollution atmosphérique
- pollution des eaux (superficielles et souterraines).

2.7.1. - Pollution Atmosphérique :

Quand les déchets sont disposés en décharge, les matières organiques entrent en fermentation, celle-ci peut se produire de façon aérobie, si les conditions d'aération et d'humidité sont favorables ou de façon anaérobie ou méthanique en absence d'air. Les métabolites produits : CO_2 , CH_4 , NH_4^+ , et mercaptant sont à l'origine de la pollution de l'atmosphère qui se manifestera par (6) :

- Odeurs nauséabondes
- explosion
- effet sur la végétation.

a) Odeurs Nauséabondes :

La fermentation entraîne la production en faible quantité de gaz malodorants, tel que l'hydrogène sulfuré (H_2S), les mercaptans et les vinyles. Ces gaz généralement beaucoup plus denses que l'air sont véhiculés hors de la décharge par le méthane gaz plus léger et peuvent être transportés sur de longues distances.

b) Explosion :

Des risques d'explosion existent essentiellement à la surface du dépôt car le mélange air + méthane peut s'avérer dangereux quand l'hydrocarbure atteint des proportions de l'ordre de 5 à 15 %.

c) Effet sur la Végétation :

Il arrive que le mélange gazeux s'exhale à la périphérie de la décharge. Dans ce cas, il entraîne une altération de la végétation existante dans les zones avoisinantes. Le même mélange gazeux peut également nuire au reverdissement d'une décharge après exploitation dans la mesure où les émanations provoquent la mort des jeunes plants.

2.7.2. - Pollution des Eaux :

a) Pollution des Eaux souterraines :

Elle est essentiellement due aux interactions des lessivats avec le sous-sol. Ces interactions dépendent : des particules effectivement retenues par les minéraux argileux (silicate d'aluminium, de fer, de magnésium plus ou moins hydratés de formule générale $n \text{ Si D}_2 (\text{Al}_2 \text{ O}_3, \text{MgO}, \text{F}_2\text{O}_3) n \text{ H}_2\text{O}$) ; des propriétés physico-chimiques des argiles et leur comportement au cours du temps, du comportement des produits organiques et leurs interférences avec les matières argileuses et enfin du comportement des métaux lourds.

(15)

A partir du milieu évolutif que constitue la décharge, deux types de pollution sont possibles ; la pollution biologique et la pollution chimique.

La première résulte des micro-organismes qui se développent dans la décharge et qui peuvent être entraînés par infiltration du lessivat. Quant à la seconde, elle résulte de composés indésirables présents dans les eaux de lessivage, les métaux lourds hautement toxiques, l'azote sous sa forme réduite et oxydée, les phosphates, les sulfures, etc...

b) Pollution des Eaux superficielles :

Si les moyens de prévention et de traitement nécessaires ne sont pas mis en oeuvre, cette pollution a lieu lors du lessivage du dépôt par ruissellement des eaux de pluie et par des résurgences au pied du dépôt.

CHAPITRE III :

Le lixiviat

3.1. - Définition

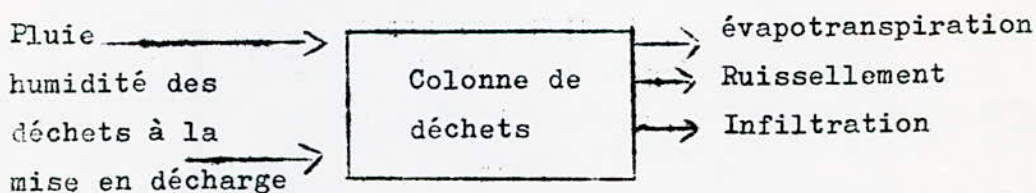
Le lixiviat est un liquide qui contient généralement de fortes charges polluantes résultats des différents phénomènes physico-chimiques qui se produisent au niveau de la décharge.

La quantité de lixiviat produite dans une décharge particulière ne peut être calculée aisément, bien que les méthodes de bilan hydrique puissent indiquer les volumes à prévoir sur un intervalle de temps donné.

En clair, le climat, l'hydrologie de surface et l'hydrogéologie du site sont les principaux facteurs d'influence sur la quantité d'eau véhiculée au travers de la décharge.

3.2. - Le bilan hydrique

Le bilan des entrées et des sorties d'eau dans une décharge étanche est calculé en utilisant la méthode du bilan hydrique employée couramment pour des sols, selon le schéma suivant (12).



En général sept principales composantes du bilan hydrique (entrées et sorties d'eau) peuvent être définie sur un site de décharge (Fig.N°1) (16).

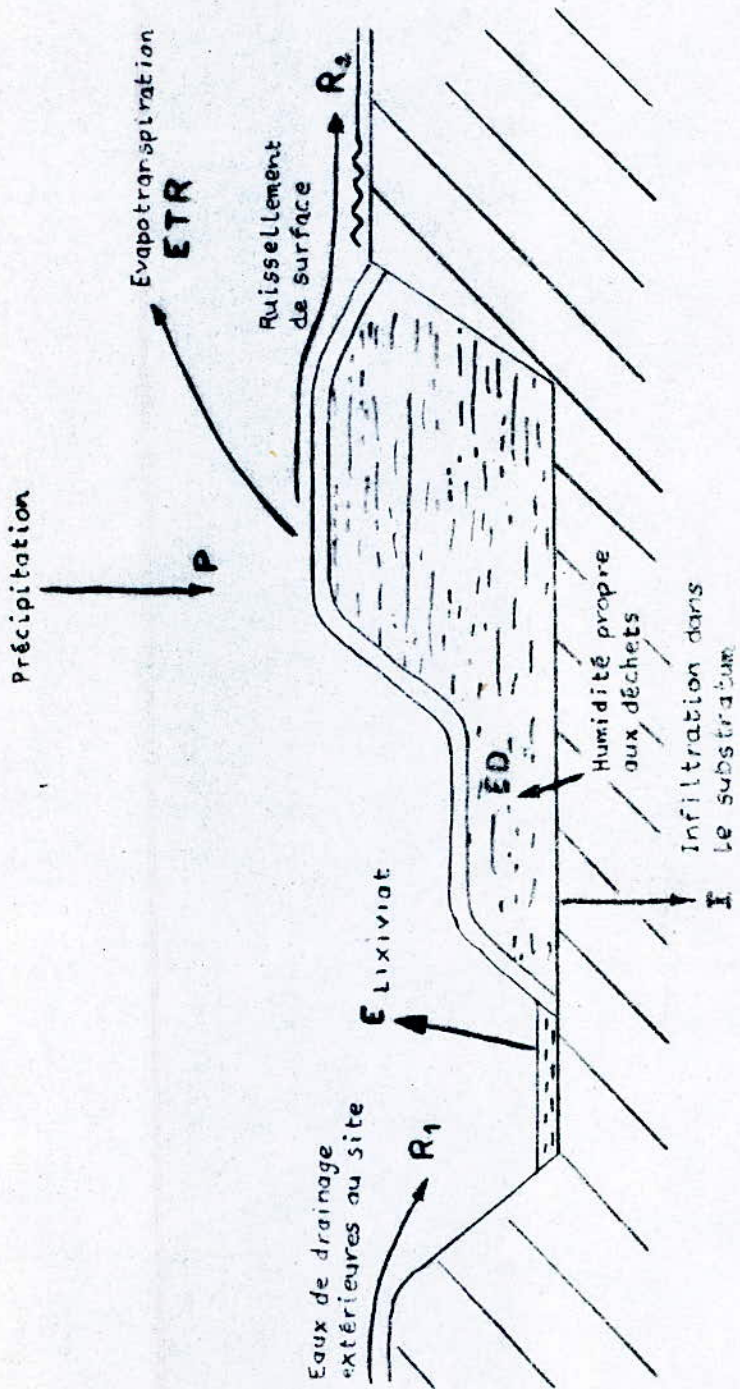


Fig. 4 : PRINCIPALES COMPOSANTES DU BILAN HYDRIQUE DANS UNE DECHARGE

Extrapolée à une décharge de déchets spéciaux étanche, la formule du bilan hydrique quantitatif annuel peut s'écrire . . (12)

$$E = P + ED - ETR \pm DS \pm R$$

avec:

- E : volume annuel d'effluents
- P : pluie tombée sur le site
- ED : eau apportée par des déchets à l'entrée du site
- ER : les pertes d'eau dues à l'évapotranspiration annuelle à partir de la surface de la décharge et à la transpiration des végétaux qui s'y trouvent éventuellement.
- S : variation annuelle du stock d'eau dans les déchets
- R : les quantités d'eau perdues ou amenées sur le site par ruissellement.

3.3. - Influence du climat et de l'hydrogéologie sur le lixiviat :

Dans la pratique, il a été remarqué que d'une région à l'autre , les conditions météorologiques, notamment la pluviométrie et l'évapotranspiration, peuvent varier du simple au double : quant à l'hydrogéologie autre facteur d'influence sur la quantité d'eau entrant et sortant de la décharge ; elle agit par deux moyens différents :

- l'hydrologie de surface se rapportant à l'influence des cours d'eau et du ruissellement sur le site.

- et l'hydrogéologie se rapportant plutôt à l'influence des systèmes aquifères et de leurs mouvements dans le sol aux alentours du site. Si les principaux facteurs d'influence sur la quantité d'eau entrant ou sortant de la décharge sont effectivement ,

Le climat, l'hydrologie de surface et l'hydrogéologie, ces trois paramètres sont tout aussi importants quant à la composition et à la concentration du lixiviat. En effet, l'eau provenant de l'une de ces trois sources et s'infiltrant au sein de la décharge, permet à la fois, la solubilisation plus ou moins complète des éléments solubilisables et l'entraînement mécanique des substances insolubles dans le lixiviat final.

3.4. - Interférences lixiviat / sous sol :

Leur capacité de rétention et leur faible perméabilité font des argiles, un matériau naturel privilégié d'étancheification des fonds de décharge de classe I. Cependant cette imperméabilité n'est toutefois que relative et l'on ne peut pas affirmer qu'un sol naturel soit totalement étanche, c'est pourquoi il existe une pénétration lente du lixiviat à travers le milieu argileux et donc interaction entre ce milieu et le lixiviat. (12).

Ces interactions permettent l'élimination de la plus grande partie de la pollution, par des phénomènes. (15).

- physique : adsorption, rétention capillaire et échange d'ions
- chimiques : précipitation et formation de gels
- biologiques : biodégradation.

Le sol et le sous sol joueront donc suivant leur nature un rôle de barrière ou de filtre (barrière géochimique) par ces différents mécanismes. (17).

3.4.1. - Phénomènes physiques

a. - adsorption :

Les substances dissoutes ou en suspension dans le lessivat qui s'infiltreront sous le dépôt peuvent être adsorbées sur les particules constituant le sous - sol.

Cette adsorption est très variable suivant le type de polluant et suivant le type de sol : un sol pourra adsorber d'autant plus que sa surface spécifique sera grande, ainsi un sol contenant une proportion notable de matières organiques adsorbe plus (10 à 100 fois) que le même sol sans matières organiques.

Les sols argileux ont une ^{surface} spécifique très grande (quelques dizaines de m^2 / cm^3), due à leur très faible granulométrie ; mais étant très peu perméables leur rôle naturel d'adsorbant entre difficilement en jeu.

L'adsorption se mesure le plus souvent en μg de polluant par g de sol. L'équation d'adsorption de Gibbs peut s'écrire (WAYMANN, 1962).

$$V'' = \frac{1}{2,3 RT} \frac{d\sigma}{d \log C} \quad (15)$$

ou :

V'' : est exprimée en moles/ cm^2

σ : tension superficielle en dya/cm

C : concentration en moles/l.

Les terrains pollués atteignent une saturation vis à vis de l'adsorption et parfois même rejettent ultérieurement des polluants auparavant adsorbés, suivant les conditions de l'infiltration.

b. - Retention capillaire :

Dans la zone non saturée, il existe une certaine humidité dont la distribution de haut en bas varie dans le temps suivant les apports de l'infiltration (Fig. N°2).

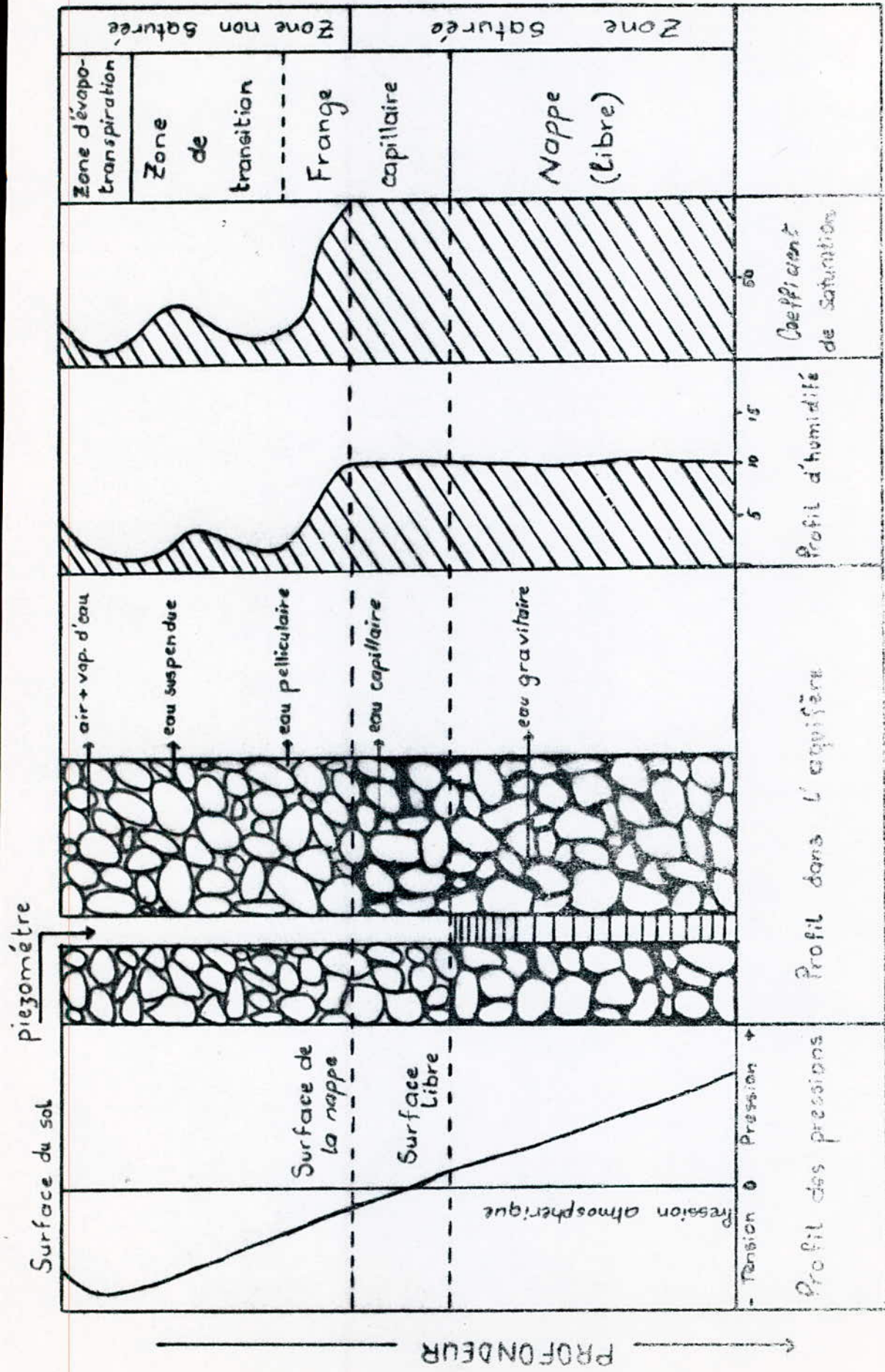


Fig. 2 : Zonalité sol / eau souterraine [9]

Une partie de la charge polluante pourra être retenue dans la partie d'eau capillaire, au fur et à mesure de la propagation du front de pollution. Néanmoins, le lessivage ultérieur (après fermeture du dépôt) peut remettre les polluants ainsi stockés en circulation par dilution et passage de l'eau capillaire à l'eau gravitaire. Cette rétention sera au début d'autant plus grande que le sous sol du dépôt est sec lors de son installation, s'il est déjà très humide, le lessivat parviendra plus vite dans la nappe avec une certaine dilution entre lessivat et eau capillaire. (15).

c. - Echange d'ions :

Certains minéraux du sol ont la possibilité d'échanges des ions avec ceux contenus dans l'eau qui s'infiltré (SCHOLLER, 1962). Ces substances sont essentiellement les minéraux argileux, les Minéraux zéolithiques, l'hydroxyde ferrique et les substances organiques tels que l'humus.

Les argiles et les humus donnent les colloïdes électronégatifs qui fixent les cations ; l'alumine donnant des colloïdes électropositifs peut fixer des anions; quant à l'hydroxyde ferrique, étant amphotère, il peut fixer les anions ou les cations suivant le pH de l'eau.

Les matières organiques ont été depuis longtemps reconnues comme de bons échangeurs d'ions (tourbe, charbon...) leur capacité d'échange de base augmente avec le pH (15).

3.4.2. - Phénomènes chimiques :

- Précipitation des sels et formation de gels

Suivant les conditions des pH et les concentrations existantes, on peut avoir une diminution de la charge polluante du lessivat par

précipitation de sels ou formation de gels retenus dans le sol et en diminuant la perméabilité. Néanmoins, ces stocks de sels peuvent être momentanés puis ensuite remis en solution une fois que les conditions physico-chimiques auront changé.

3.4.3. - Phénomènes biologiques : La biodégradation

La plupart des bactéries qui se développent dans les ordures ne peuvent pas survivre dès qu'elles sortent de ce milieu pour passer dans le sol, les conditions de vie étant très différentes entre ces deux milieux. Néanmoins, la propagation du front de pollution entraîne une partie des nutriments et donc permet à des microorganismes adaptés à ces conditions de se développer.

Cependant, trop peu d'études ont été faites sur la biodégradation dans la zone non saturée sous un dépôt d'ordures pour pouvoir en décrire le processus et les produits résultants.

3.5. - Impact des interférences sur les particules argileuses :

a. - au niveau macroscopique :

Il peut y avoir altération des argiles au cours du temps liée à la solubilisation de la silice par des solvants acides ou basiques provoquant par exemple des microfissures.

b. - au niveau microscopique

Il peut se produire une évolution de la perméabilité des argiles. En effet deux phénomènes sont susceptibles de se produire :

- diminution du coefficient de perméabilité qui s'expliquerait par une décroissance de la taille des pores, due au gonflement des particules argileuses entraînant un retard de la transmission des fluides;

- augmentation du coefficient de perméabilité due d'une part à une contraction des particules argileuses lorsque l'eau interfeuillet est chassée en créant des minicanaux par lesquels les fluides s'écoulent plus rapidement et d'autre part à un agrandissement de la taille des pores de la matrice qui peut être constaté après passage continu de solutions plus ou moins corrosives.

3.5. - Influence de l'interaction entre le sol et les espèces inorganiques sur la composition finale du lixiviat.

L'interaction entre le sol et les espèces inorganiques influence largement dans la composition finale du lixiviat.

3.5.1. - Comportement des ions :

La nature des ions se trouvant dans le lixiviat est très importante ainsi plus la charge est grande plus l'ion est adsorbé (par exemple Al^{3+} est plus adsorbé que Mg^{2+} et Mg^{2+} plus que Na^+). D'autre part les ions de même valeur sont d'autant mieux adsorbés que leur rayon est grand (K^+ est plus adsorbé que Na^+ , Ca^{2+} , Br que Cl^-).

Ainsi la diminution de la concentration des métaux alcalins est provoquée par l'échange cationique de ces éléments avec l'argile et plus particulièrement avec la montmorillonite de calcium.

3.5.2. - Comportement des métaux lourds :

Le comportement des métaux est plus complexe que celui des ions. En effet, la mobilité des métaux lourds dans les sols argileux est fonction, du pH de la solution dont dépendent les phénomènes de précipitation, de la force ionique de la solution qui entraîne ou non une compétitivité entre les différents cations et de la capacité d'échange cationique du matériau argileux. Ainsi l'atténuation de ces cations a lieu sous forme d'échange d'ion et d'adsorption.

CAMBELL et COLL ayant travaillé sur l'atténuation des polluants sur les argiles ont résumé dans le tableau suivant l'évolution des principaux métaux.

Tableau 5 : (21)

	Cuivre	Zinc	Cadmium
Conditions d'adsorption maximum	pH = 6 par le sol le plus acide et argileux	6,3 < pH < 7,1 pour le sol le plus acide et argileux	4 < pH < 5 forte mobilité dans les sols acides et argileux la compétition est plus marquée pour Cd avec Al et Mn
Influence des autres cations sur l'adsorption de l'ion.	pH < 5 Pas d'influence du Zn et du Cd pH 8 diminution de l'adsorption du Cu en présence de Zn et Cd	à bas pH, Cu et Cd diminue l'adsorption du Zn.	adsorption plus faible en présence de Cu et Zn.
<p>Le Cu s'adsorbe préférentiellement et sa présence inhibe l'adsorption du Zn et du Cd</p> <p>Diminution générale de l'adsorption à pH > 7 parallèlement, formation de complexés organo-metalliques stables, plus facilement en présence de Ca (CH₂) que de NaOH qui disperse plus aisément la matrice organique.</p>			

A priori, les réactions sol / lixiviat semblent être bénéfiques quant à la composition finale du lixiviat puisque certains polluants tels que les métaux lourds et certains éléments traces, sont retenus par les argiles et disparaissent de la composition du lixiviat (17). Cependant cette atténuation des polluants et le degré de mobilité dans le sol sont limités par la saturation de l'argile dans sa capacité d'échange cationique et anionique. En effet, lorsque les argiles n'offrent plus de possibilité d'échange d'ions, les polluants ne réagissent plus avec le sol et restent donc dans le lixiviat.

Ainsi selon GRIFFIN et all (1976) (18), on peut distinguer grossièrement 4 groupes de polluants en fonction de leur possibilité d'atténuation et de réaction avec le sol de la décharge et que l'on retrouvera donc dans la composition finale du lixiviat.

Tableau 6 : Degrés d'atténuation de certains polluants

	Degré d'atténuation	Métaux
1er groupe	forte atténuation de polluant	Pb, Zn, Cd, Hg
2ème groupe	atténuation moyenne du polluant	Fe, Si, K, NH_4^+ , Mg
3ème groupe	faible atténuation du polluant	Na, Cl, matières organiques solubles
4ème groupe	phénomène de relargage	Mn, Ca, B

Il faut toutefois signaler que dans le cas des lessivats à forte concentration en produits organiques, c'est à dire la fraction liquide appartenant au déchet lui même, ces phénomènes d'échange et d'adsorption deviennent moins importants.

3.4. - Propagation de la pollution dans la nappe :

L'estimation de la charge polluante produite par lessivage et qui migre dans la zone non saturée permet d'avoir une idée sur la charge polluante qui peut pénétrer dans la nappe (zone saturée) et qui peut se propager à sa surface, au niveau de la frange capillaire (Fig.2)

Dans cette zone il est difficile d'estimer la vitesse de propagation de l'eau car de nombreux paramètres interviennent comme la dilution dans la nappe, la propagation différentielle dans les strates les plus perméables et les variations d'anisotropie (variation des propriétés des sols selon la direction considérée) et de densité des sols. (19).

D'autres part, les caractéristiques de la nappe et surtout le sens de son écoulement jouent un grand rôle dans la propagation de la pollution. Il est notamment intéressant de savoir si la décharge est située en amont ou en aval des points de captage d'eau, dans ce dernier cas les risques de contamination d'une zone d'alimentation ou de drainage de la nappe sont exclus. (6).

Le comportement des lixivats en zone non saturée et saturée d'aquifères poreux peut se résumer ainsi :

a. - la biodégradation organique peut être considérable dans une décharge saturée. Les ions NH_4^+ persistent dans ces conditions les ions SO_4^{2-} et NO_3^- sont réduits.

b. - L'eau souterraine oxygénée semble être bénéfique pour dégrader rapidement les composés (oxydations des sulfures et des ammoniums respectivement en sulfates et nitrates).

3.7. . - Influence de la surface d'exploitation et de la hauteur des déchets sur les lixiviats :

Plus la surface d'exploitation est importante, plus l'influence de la pluviométrie se fait sentir. De plus, plus longtemps. Cette exploitation durera et plus longtemps elle sera exposée à l'influence des précipitations.

Parallèlement la hauteur des déchets dans une décharge peut influencer sur les quantités de lixiviats produites.

En général, les décharges plus profondes absorbent plus d'eau avant la lixiviation mais produisent aussi les lixiviats sur une plus longue période de temps que les décharges moins profondes de surfaces similaire (d'après QUASIM et BURCHINAL) . (20).

De même une grande hauteur de déchets, permet d'atténuer l'influence des fluctuations climatiques extérieures sur la température interne de la décharge. En effet, une décharge profonde ou une hauteur de déchets importantes se comporte comme une masse calorifugée, ce qui permet de maintenir la température du milieu dans les limites compatibles avec le développement de certaines bactéries régissant la biodégradation (méthanogénèse). Par contre les phénomènes anaérobies deviennent prépondérants, si la hauteur des déchets est importante, car la pénétration de l'oxygène atmosphérique au sein de la décharge devient difficile. La dégradation des déchets sera plus lente, le processus anaérobie étant plus lent que le processus aérobie. (12).

3.7. . - Influence du compactage sur le lixiviat :

Si le compactage présente certains avantages dans l'exploitation d'une décharge il n'en est pas de même, en ce qui concerne la décomposition des déchets. En effet, un compactage important diminue la surface d'échange entre les déchets et les bactéries et ralentit alors la décomposition

des déchets rallongeant d'autant la durée de vie du flux potentiel des polluants contenus dans les lixiviats. (12).

3.0. - Influence de la couverture sur le lixiviat :

La couverture finale d'une décharge constitue un écran plus ou moins imperméable à la pénétration des eaux météoriques. La constitution même des différentes couches qui la composent et le choix des matériaux revêt donc une grande importance pour répondre aux objectifs fixés.

CHAPITRE IV. : EVOLUTION DES DECHETS, INTERACTIONS
PHYSICO-CHIMIQUE ET BIODEGRADATION.

Les déchets mis en dépôt subissent une évolution permanente, cette évolution caractérisée non seulement par la formation de lixiviat mais aussi par des interactions physico-chimiques, par des réactions chimiques et par des réactions biologiques qui font qu'une décharge se comporte comme un réacteur vivant avec une activité intense de la microflore.

4.1. - Réactions entre les déchets :

Certaines réactions physiques ou chimiques entre déchets peuvent se produire et avoir une influence notable sur le lixiviat. Les réactions chimiques s'accompagnent souvent de phénomènes indésirables pour le bon fonctionnement de la décharge.

A ce sujet HATAYAMA et al., (1980) ont présenté une classification "hiérarchisée" des catégories de substances ou produits qui par mélange binaires provoquent des réactions dangereuses. (22)

Ces réactions peuvent mener entre autre à :

- réactions très fortement exothermiques suivies parfois d'une inflammation.,
- formation de gaz tels que N_2 , CO_2 non dangereux, mais pouvant provoquer des surpressions dans les containers et des explosions.
- formation de gaz toxiques tels que H_2N , H_2S ...
- formation détonnantes suivies d'explosion plus ou moins importantes.

Si le mélange de deux déchets entraîne une ou plusieurs de ces réactions, ces déchets sont dits incompatibles, ils sont alors à exclure des décharges.

Cependant, même si elles sont moins virulentes, certaines réactions chimiques se produisant entre les déchets "admissibles" dans une décharge.

Parfois ces réactions chimiques sont d'un apport favorable à la mise en décharge tels que dans le cas de plusieurs déchets, acides ou basiques qui par autoneutralisation lors du mélange deviennent des déchets admissibles, bien qu'ils ne le sont pas séparément. Ainsi on voit souvent la mise en **décharge** de déchets industriels avec les ordures ménagères qu'ont la capacité de neutraliser les acides. En effet, les ordures ménagères ont une capacité tampon vis à vis des acides. (17).

Parallèlement à l'autoneutralisation on peut avoir des phénomènes d'absorption au niveau des déchets. En effet certains produits tels que les huiles et graisses s'absorbent sous forme de films à la surface des déchets et les protègent donc du milieu aqueux et des éventuelles réactions possibles avec ce milieu.

Cependant l'huile ne semble pas être complètement immobilisée et si la capacité d'absorption est dépassée il y'aura migration d'huile dans la zone non saturée . (23).

Cette fixation ne permet donc pas une élimination définitive de la pollution engendrée par ces produits huileux. mais ne fait que retarder la migration de ces éléments et la décomposition des déchets protégés par ces derniers.

Outre ces interactions internes aux déchets on peut avoir aussi des phénomènes de précipitation et complexation.

Tableau n° 7 Zones de pH de précipitation de différents métaux.
(d'après L. HARTINGER). (12).

Ion métallique	Valeur de pH			Réactifs de précipitation (1).	Valeur prise comme base pour la précipitation quantitative (2)
	début de précipitation	Précipitation quantitative	Redissolution		
Fe ³⁺	2,8	3,5	-	N.K.S.	2 mg/l
Sn ²⁺	3,9	colloidal	10,6	"	-
Al ³⁺	4,3	4,8	8,5	"	2 mg/l
Cr ³⁺	5,5	6,3 - 6,5	9,2	"	2 mg/l
Be	5,8	non mesuré	-	"	-
Cu ²⁺	5,8	8,5	-	"	1 mg/l
Zn ²⁺	7,6	8,3	11	"	2 mg/l
Fe ²⁺	7,4	7,9	-	"	-
Ni ²⁺	non mesuré	environ 9	-	"	3 mg/l
Pb ²⁺	7,8	9,3	-	"	1 mg/l
Cd ²⁺	7,0 - 5,5	9,5 - 6,5	-	"	1 mg/l
As ²⁺	7 - 9,1	9,5 - 9,8	9,0 colloidal	"	3 mg/l
	9,5	7,2	-	"	-
	9,25	non mesuré colloidal	-	"	-

(1) N : Soude constitutive, K : chaux, S : carbonate de soude
(2) encadré en solution

En effet les métaux et en particulier les métaux lourds sont souvent déposés dans les décharges sous forme de boîtes d'hydroxydes métalliques. IL est donc nécessaire de contrôler le pH au sein de la décharge pour éviter la resolubilisation de certains métaux. En général, quelque soit le site étudié, le pH se situe entre 6 et 6,5 et en tenant compte de la solubilité des hydroxydes de ces métaux on observe Fe^{3+} et Cr^{3+} précipitent.

Pour Eu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} et Cd^{2+} il reste par contre toujours des quantités notables en solution. Par contre une partie de l'aluminium déjà solubilisé se redissout et forme des ions aluminates (Tableau n° 7).

La précipitation quantitative peut aussi être comprise par la formation de complexe avec par exemple l'ion ammonium comme agent complexant. De même il faut tenir compte des carbonates et bicarbonates qui jouent en décharge un double rôle. En effet, cette présence d'une part permet au lixiviat de conserver son pouvoir tampon et par conséquent de limiter les variations de pH. D'autre part ces carbonates favorisent la précipitation des métaux avec lesquels ils forment des carbonates métalliques qui sont généralement plus stables et moins solubles que les hydroxydes correspondants.

4.2. - Effet de la biodégradation sur le lixiviat :

La dégradation des ordures au sein de la décharge se fait par des processus biochimiques. La nature de ces processus de dégradation est liée aux conditions régnant dans et sur la décharge.

4.2.1. - Mécanismes et réactions du processus biologique de la dégradation.

Les matières organiques et en particulier les ordures ménagères déposées en décharge sont le siège d'une activité microbienne intense, dont l'une des conséquences est la métabolisation des matières organiques en produits gazeux.

La biodégradation des matières organiques passe par quatre étapes : hydrolyse, acidogénèse, acétogénèse et méthanogénèse. (24). (Fig. 5).

a. - Hydrolyse :

Dans cette étape les matières organiques sont soumises à l'action d'enzymes spécifiques secrétées par des microorganismes hydrolysants, dégradent les grosses molécules insolubles, les molécules de plus petite taille, solubles, pouvant ultérieurement servir de substrat à ces microorganismes. Après cette phase, le métabolisme anaérobie devient le principal processus de biodégradation. Les populations bactériennes impliquées sont extrêmement nombreuses. (24).

b. - Acidogénèse :

De très nombreuses espèces bactériennes anaérobie facultatives ou anaérobies strictes prennent part à cette phase qui peut s'effectuer selon deux voies :

- dans la première, les petites molécules de l'hydrolyse de la matière organique sont transformées directement en composés précurseurs de CH_4 : acétate, CO_2 et hydrogène,
- dans la seconde, au lieu de la formation d'acétate, il se forme des alcools comme le méthanol et l'éthanol et surtout des acides gras. Cette étape aboutit à un changement important des conditions d'acidité du milieu,

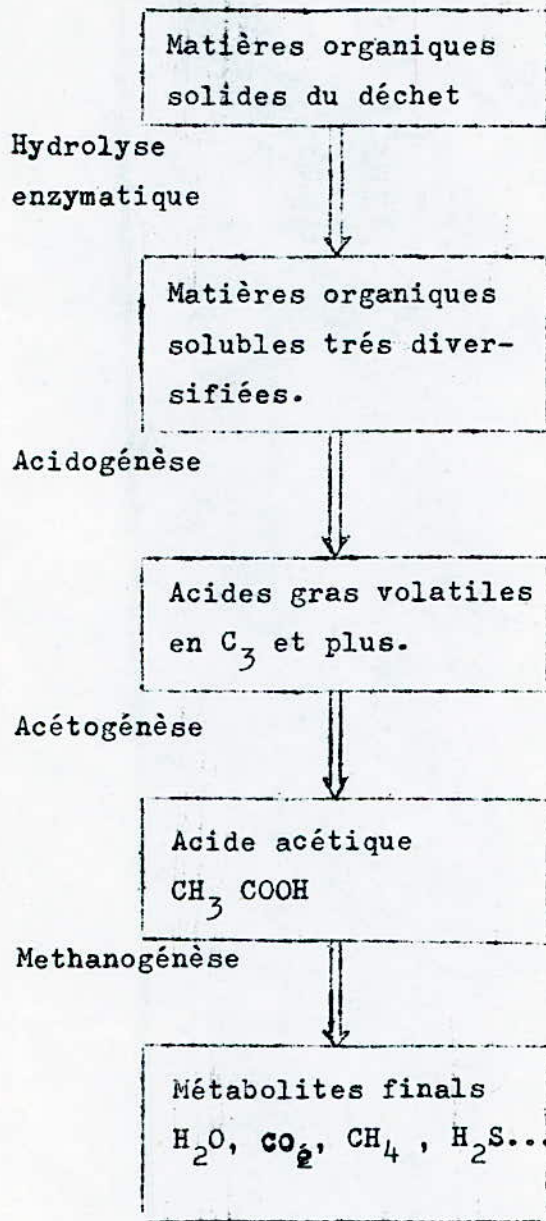


Figure 3 : Schema général de la biodégradation

et l'abaissement du pH risque de provoquer une solubilisation de certains métaux.

c/ - L'acétogénèse :

Dans cette phase se produit la transformation des sucres, des acides gras et des alcools en acétate, formates et gaz (CO_2 et H_2) qui, seuls sont assimilables dans la phase méthanogène. C'est pourquoi, la majorité des acides gras sont transformés en acide acétique. (15).

d/ - Méthanogénèse :

C'est la phase ultime du processus, où il se produit deux réactions méthanogénèses simultanées.



Les bactéries méthanogènes sont des bactéries anaérobies strictes. Bien que la composition du gaz obtenu soit très variable, ses principaux composants sont le CH_4 et le CO_2 : dans de nombreux cas, la somme de leurs concentrations avoisine 99 p. cent. La présence d'autres composés dans le gaz résulte généralement d'une composition anormale du déchet.

4.2.2. - Conditions régissant la biodégradation de la matière organique :

La production de méthane, phase ultime de la dégradation de la matière organique, dépend de plusieurs paramètres. De plus,

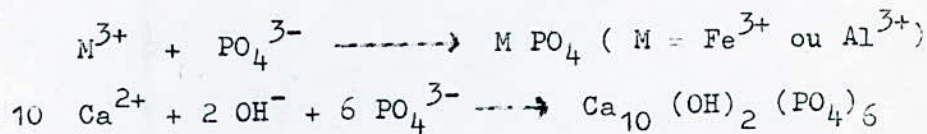
l'activité microbologique se trouve elle - même influencée par les conditions de milieu qu'elle tend par ailleurs à modifier. (12).

a, - Les nutriments :

Les proportions réactives en carbone, azote et phosphore du milieu nutritif influent directement sur les processus de dégradation aérobie et anaérobie et donc sur la production de gaz. En effet les substrats nutritifs doivent apporter les éléments chimiques qui constituent le matériel cellulaire ainsi que ceux nécessaires aux activités enzymatiques et aux systèmes de transport.

Ainsi, d'après des résultats d'expérimentation, si le rapport C / N est trop grand (> à 35), la décomposition est lente par déficience en azote. Par contre, si le rapport C/N est faible (< 5) l'azote est libéré sous forme d'ammoniac. Le pourcentage de méthane est élevé et la production de gaz est maximale Si C/N est égal à environ 30.

Une déficience du phosphore empêche le développement des bactéries et inhibe la fermentation. Très peu de phosphore est retrouvé dans les lixiviats car il précipite facilement avec les ions métalliques multivalents (Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} ...) en formant des précipités stables et insolubles.



pH de précipitation pour



b, - le pH :

Que ce soit du point de vue chimique ou biologique, la maîtrise du pH au sein d'une décharge est très importante quant aux conséquences directes ou indirectes sur la production et la charge finale des lixivats. Le pH a une importance notoire sur la croissance des micro-organismes intervenant dans la biodégradation ainsi une acidification poussée du milieu, peut inhiber complètement la phase acétogène, ce qui implique une pollution globale du lixiviat par les métabolites intermédiaires.

Certains de ces métabolites (acides aminés, composés carboxyliques azotés) peuvent par contre avoir une action complexante vis - à vis des métaux et donc retenir certains métaux.

La tendance à l'acidification du milieu est due à la formation et l'accumulation en quantité importante d'acide gras volatils, lors de la phase acidogène et à la dégradation rapide en acide et hemicellulose. Ainsi, en fonction du pH, il peut se produire une précipitation d'ions métalliques sous forme d'hydroxydes phosphates, carbonates et de sulfures très peu solubles ou inversement la solubilisation de métaux à partir d'une fraction minérale sous l'influence du gaz carbonique libre agressif.

La figure 4, montre l'influence de la concentration en acides gras volatils sur la variation du pH.

c, - Potentiel Redox :

Les réactions chimiques entre les déchets, dans la plupart des cas, sont régies par le pH. Mais ces réactions sont tout d'abord fonction de la forme (oxydante ou réductrice) sous laquelle les

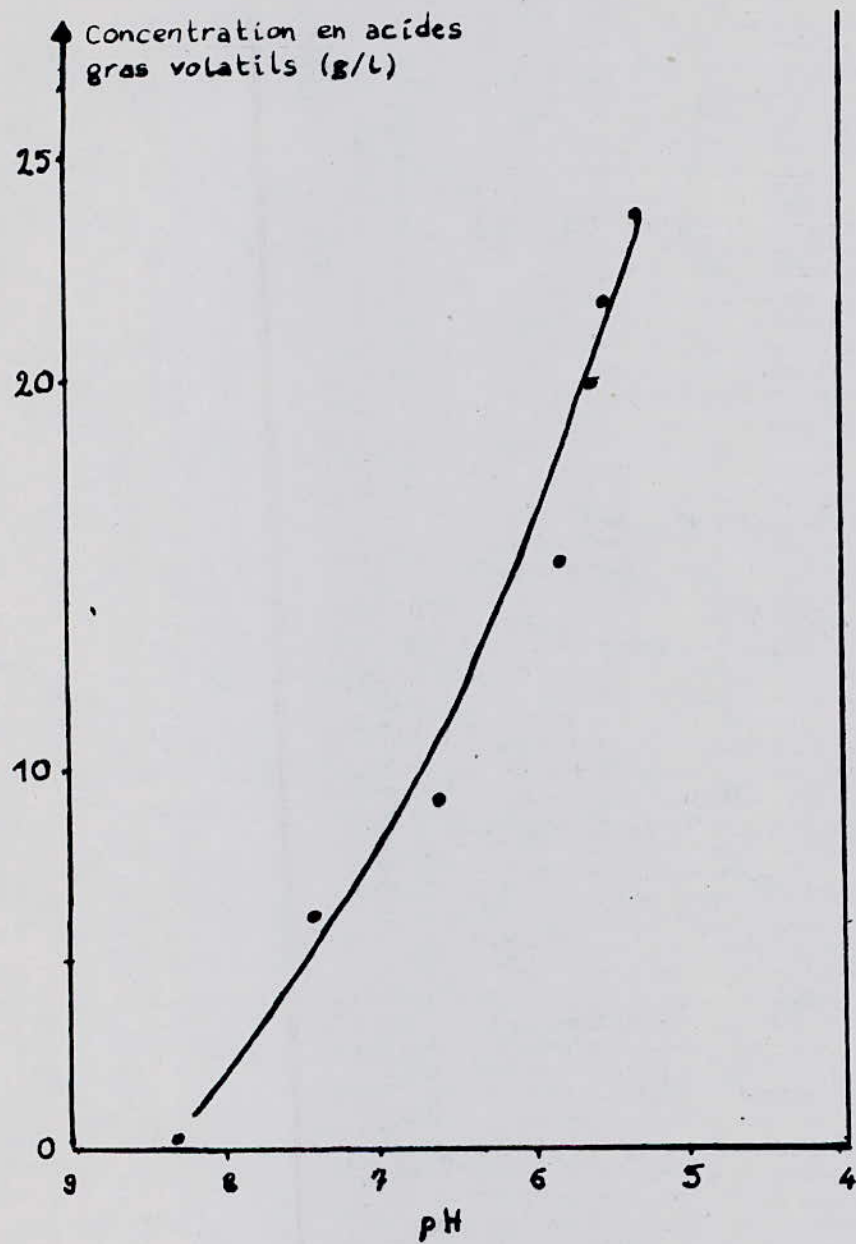


FIG 4 : CONCENTRATION EN ACIDES GRAS VOLATILS (g/L)
EN FONCTION DU PH [17]

éléments réactionnels se trouvent au sein de la décharge.

Dans les décharges les possibilités d'accès de l'oxygène gazeux atmosphérique diminue en fonction de la hauteur des déchets, le milieu de la décharge passe du milieu aérobie et oxydant au milieu anoxique et faiblement oxydant puis au milieu strictement anaérobie et réducteur. Nous pouvons donc caractériser, comme pour les eaux résiduaires, les lixiviats de décharges par leur potentiel d'oxydo-réduction.

Un potentiel Redox négatif indiquera un milieu anaérobie. Dans la figure 5 nous montrons l'évolution du potentiel Redox en fonction du pH et la nature et l'état du milieu correspondant.

d. - La température :

L'activité enzymatique des bactéries aérobies et anaérobies dépend étroitement de la température. Ainsi vers 10°C, l'activité enzymatique des bactéries est faible, au dessus de 65°C les enzymes sont détruites par la chaleur. En climat froid, l'activité biologique sera plus lente qu'en climat chaud, cette influence sera d'autant plus faible que la profondeur et le volume des déchets ^{seront} importants. De ce fait ce sont les bactéries mésophiles (31°C - à 37°C) qui se développent (en anaérobiose).

e. - L'humidité :

L'humidité du milieu est un paramètre important pour le mécanisme biologique et plus particulièrement sur la méthanisation. En effet, d'après CHIAN et DE WALLE (1977), une humidité de l'ordre de 50 p.cent en poids humide est requise pour permettre un développement optimal de la méthanogénèse. Avec des teneurs < à 5 p.cent la survie des bactéries est compromise (APGAR, LANGMUIR, 1971). (15).

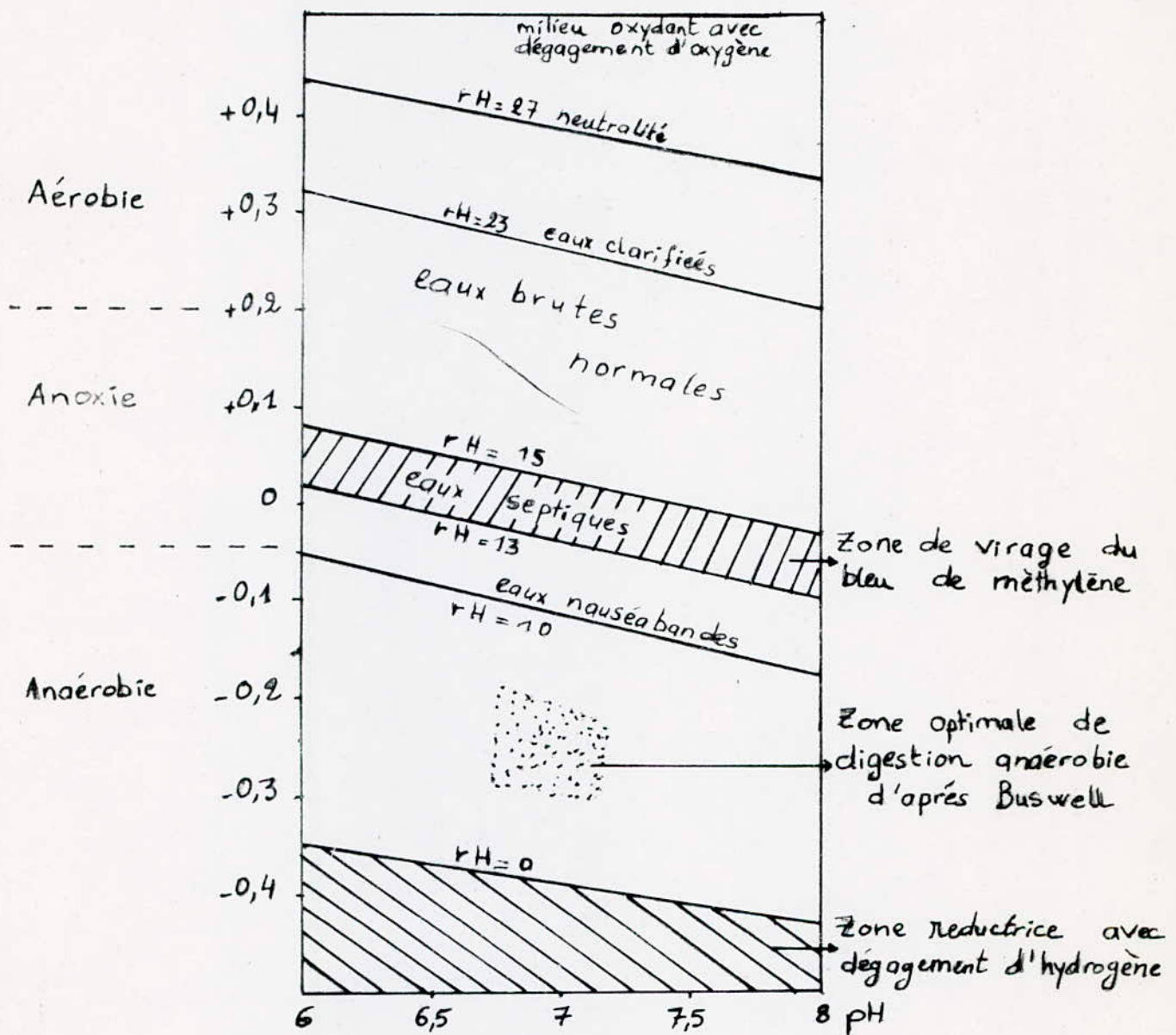


Fig 5 : Caractéristiques des eaux résiduaires par leur potentiel d'oxydo-réduction (d'après le memento technique de l'eau)

Un taux d'humidité trop important conduit à une hydrolyse excessive des déchets, se traduisant par une accumulation trop importante d'acides gras volatils qui font baisser le pH et inhibent la méthanogénèse. Ces acides gras volatils restent alors dans le lixiviat et leur taux élevé peut atteindre une charge encore plus importante lorsque le contact entre l'eau et les déchets est intime et le temps de contact est long. (12).

2. - Les inhibiteurs :

Ces inhibiteurs influent principalement sur la dégradation anaérobie. Ils sont très variés et, pour chacun, les effets varient avec leur concentration.

Les principaux inhibiteurs sont :

- Les alcalins et les alcalino-terreux :

Pour ces ions communément rencontrés au sein d'une décharge le tableau n° 6 suivant montre l'échelle de toxicité. (25).

Tableau n° 6 :

Ions (mg/l)	Stimulateur	Légerement inhibiteur	Toxique
Na	100 - 200	3500 - 5500	8000
K	200 - 400	2500 - 4500	12000
Ca	100 - 200	2500 - 4500	8000
Hg	75 - 150	1000 - 1500	3000

- Les métaux :

En règle générale, les métaux lourds se trouvent, dans les décharges sous forme de composés insolubles ou peu solubles (hydroxydes, carbonates, sulfures, phosphates). Une inhibition de 20 p. cent de la méthanogénèse est cependant obtenue pour les teneurs suivantes: (ces teneurs ont été obtenues à l'échelle du laboratoire sur un digesteur). (26).

Ni^{2+}	2000 mg/kg	. r .	matière sèche
Cd^{2+}	2200 mg/kg/		matière sèche
Cu^{2+}	2700 mg/kg		matière sèche
Zn^{2+}	3400 mg/kg		matière sèche.

- Les sulfures :

Les sulfures résultent de la réduction des sulfates. Ils sont tolérés vis à vis de la biodégradation jusqu'à une valeur de 200 mg/l sous forme soluble. Cependant, ces sulfures précipitent très facilement avec les métaux, peu de sulfures sous forme solubles se trouvent dans le lixiviat. (12).

- L'ammoniac :

Le métabolisme des bactéries utilise 20 à 30 fois plus de carbone que d'azote. (27). La teneur en azote total (azote ammoniacal et organique) doit être suffisamment importante pour assurer ce métabolisme. D'autre part, le pH du lixiviat étant proche de la neutralité, le NH_3 produit lors de la dégradation de la matière organique en anaérobie se retrouve sous forme de NH_4^+ . Cependant de trop fortes concentrations peuvent être néfastes pour le développement des bactéries. A titre indicatif, l'échelle de toxicité de l'ammoniac vis à vis de la population bactérienne est la suivante. (12).

50 - 200 mg/ l	:	effet bénéfique pour leur développement
200 - 1000	:	effet indifférent.
1500 à 3000	:	effet inhibiteur
3000	:	toxique

Par contre les ions NH_4^+ permettent la complexation du Cu^{2+} qui se retrouve alors dans le lixiviat final.

- Les détergents synthétiques :

Les alkylbenzènes sulfonates peuvent avoir des effets toxiques sur la population bactérienne au delà d'une teneur de 1,5 p. cent par rapport à la matière sèche. Les sulfonates, qu'ils soient aliphatiques ou cycliques, sont peu décomposables et leur effet toxique se manifeste par une diminution de la production de gaz.

- Les hydrocarbures chlorés :

Le chloroforme est celui par lequel les plus faibles concentrations suffisent à réduire de 20 p. cent la production de gaz (26). De même les hydrocarbures difficilement biodégradables sont entraînés mécaniquement et se trouvent à plus moins brève échéance dans le lixiviat.

h/ - Oxygénation :

Selon la nature de la décharge et le site choisi pour le dépôt, la dégradation se fait, sous des conditions aérobies ou anaérobies, liées à la présence plus ou moins grande d'oxygène.

- Conditions anaérobies :

La dégradation de la matière organique dans ces conditions est lente et produit des acides organiques qui se décomposent à leur tour en gaz carbonique et méthane.

- Conditions aérobies :

Dans ces conditions l'apport en O_2 doit être suffisamment renouvelé pour permettre une oxydation rapide des matières organiques. Les métabolites obtenus correspondent à des formes oxydées des éléments constitutifs de la matière avec principalement formation de CO_2 et d' H_2O et production d'énergie transmise sous forme de chaleur.

4.3. - Impact des ordures ménagères sur les déchets admissibles en classe I.

La mise en décharge conjointe des ordures ménagères et des déchets admissibles en classe I provoque par l'intermédiaire de l'action des percolats des ordures ménagères les effets suivants. (17).

- augmentation de la solubilité des sels par effet de force ionique due à une salinité totale élevée,
- solubilisation de métaux présents sous forme minérale (hydroxydes, carbonates, sulfates, sulfures, etc...) par suite du pH du milieu inférieur au seuil de précipitation quantitative de la plupart des métaux, notamment les métaux lourds.
- effet de complexation chimique d'ions métalliques en solution permettant un maintien en solution, dans des conditions du milieu, qui devrait normalement aboutir à leur précipitation,
- effet thermique due à la fermentation des ordures ménagères ayant une incidence importante sur la cinétique des réactions chimiques de dissolution.

4.4. - Suivi du contenu organique de la décharge en fonction du temps :

La DCO, la DBO_5 et le COT permettent d'évaluer la charge polluante organique contenue dans les percolats. L'âge de la décharge influe sur l'évolution et la teneur de ces paramètres.

a/ - DCO :

La DCO passe tout d'abord par un maximum dans les premiers mois après la mise en décharge, lors des phases d'hydrolyse et d'acidification qui solubilisent les molécules organiques complexes. Les éléments formant alors la charge polluante sont essentiellement des acides gras volatils, métabolites intermédiaires des processus de dégradation et notamment du processus anaérobie puis du fait de la solubilisation effective de la matière organique potentiellement solubilisable et du développement des différents processus de dégradation, la teneur en acide gras diminue ensuite puisque ceux-ci sont dégradés et consécutivement la DCO décroît.

b/ - La DBO_5 : (12)

L'évolution de ce paramètre suit celle de la DCO.

4.5. - Suivi des composés minéraux :

Globalement les évolutions des composés inorganiques peuvent être décomposés en trois types :

a/ - Concentration décroissante avec l'âge de la décharge :

Les concentrations de quelques inorganiques suivent la même évolution que les valeurs de DCO et DBO_5 . Cependant durant la phase acide, la présence des acides gras volatils abaisse les variations de pH

et augmente la solubilité de quelques métaux (Fe , Ca , Mn , Mg , Zn et Sr). (12).

b/ - Concentration croissante avec l'âge de la décharge :

Quelque paramètres tels que NH_4^+ , N - organique, les alcalins (Na^+ , K^+) , les alcalino - terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) et les ions Cl^- et SO_4^{2-} montrent un léger accroissement dans le temps. Cependant , les teneurs de ces éléments diminueront petit à petit du fait de l'épaissement des quantités disponibles provoqué par le lessivage de la décharge. La décomposition de la matière organique améliore la distribution de l'eau dans les déchets et ainsi la solubilité de ces éléments augmente.

c/ - Fluctuation divers :

Les métaux lourds (Pb , Ni , Cu , As etc ...) qui sont très sensibles aux variations des conditions du milieu ont des évolutions très imprévisibles.

//) DEUXIEME PARTIE :

EXPLOITATION DES DONNEES GEOLOGIQUES
ET HYDROGEOLOGIQUES ET ETUDE ANALYTIQUE.

CHAPITRE I

DECHARGE DE OUED-SMAR :

1.1. - HISTORIQUE :

La décharge publique de Oued-Smar a été inaugurée le 13 Juin 1978 à la suite de la fermeture de la décharge saturée qui se trouvait à proximité de la ville de BARAKI.

Le C.P.V.A. qui a choisi le nouveau site de Oued-Smar n'a pas procédé à une étude géologique et hydrogéologique détaillée du site, et s'est contenté du fait que le sol soit argileux (renseignement fourni par la S.N.M.C. qui extrait de l'argile pour la briqueterie de l'E.P.R.C. qui se trouve au Nord-Ouest, à 15 km de la décharge).

Ainsi, la décharge actuelle se trouve donc implantée dans une région à vocation agricole et en partie marécageuse.

La décharge de Oued-Smar reçoit depuis 1978 toutes les ordures ménagères et industrielles de la Wilaya d'Alger, ainsi que certains déchets de la zone industrielle Rouiba/Réghaïa et des petites industries privées.

Au départ la décharge était scindée en 2 zones, une pour les ordures ménagères, et l'autre pour les ordures industrielles. Depuis quelques années, cependant, la première zone étant saturée, tous les déchets sont rejetés dans la seconde. [La ville d'Alger rejette actuellement environ 1 600 T d'ordures ménagères par jour. (27)]

1.2. - SITUATION GEOGRAPHIQUE :

La décharge présente une surface d'environ 8 hectares, elle est limitée au Nord par Beaulieu à 1 km de la caserne militaire, à l'Est à quelques centaines de mètres par la zone industrielle de Oued-Smar, à l'Ouest, au Sud et au Nord-Ouest par les terres agricoles du domaine KOURIFA Rachid, et au Sud-Est par le domaine Emir Abdelkader.

La limite "Est" de la décharge est traversée par l'Oued-Smar canalisé.
La voie ferrée : Alger/Constantine la longe du côté Nord (Fig.3).

La position exacte et les coordonnées Lambert :

$$x = 541,00 - 541,400$$

$$y = 378,00 - 377,400$$

sont représentées dans le plan photogrammétrique à l'échelle 1/10 000 ème.

: :

1.3. - IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

La décharge de Oued-Smar étant une décharge non contrôlée présente des risques de pollution énormes. Elle indispose fortement les populations environnantes (habitants de Oued-Smar, El-Harrach, Beaulieu, Dar-El-Beïda, Bab-Ezzouar et les travailleurs de la zone industrielle). La pollution apparente se caractérise par les dégagements des fumées, d'odeurs, par la prolifération des rongeurs et insectes, ainsi que de très fréquents incendies causés en outre par le méthane qui se dégage. Les fumées chargées de poussières sont entraînées dans toutes les régions avoisinantes où elles se stabilisent par les phénomènes d'inversion thermique. Les zones de stabilité sont surtout observées le matin au Nord de Oued-Smar (El-Harrach, Cinq Maisons, El-Alia et Bab-Ezzouar) et au Sud de Dar-El-Beïda.

Les autres nuisances qui ne sont pas apparentes, consistent quant à elles à une éventuelle pollution progressive de la nappe aquifère par les éléments chimiques toxiques qui sont lessivés par les eaux de pluie et à une contamination des terrains agricoles avoisinants.

1.4. - NATURE ET ORIGINE DES DECHETS REJETES DANS LA DECHARGE :

Les déchets rencontrés dans la décharge de Oued-Smar sont de types très variés. On peut néanmoins distinguer deux grandes catégories de déchets :

- déchets ménagers
- déchets industriels.

1.4.1. - Les Déchets Ménagers :

X a) - Ordures ménagères :

Ce sont les déchets des ménages et elles sont constituées par :

- les matières organiques : déchets de cuisines, restes d'aliments, papiers, textiles, emballages, plastiques, etc...

- Les matières minérales : cendres, scories, ustensiles ménagers, faiïences, aciers, boîtes et bidons métalliques, etc...

b) - Boues ménagères :

Les boues ménagères représentent la totalité des matières solides éliminées dans les stations d'épuration et d'assainissement des maisons particulières et des communes.

1.4.2. - Déchets Industriels :

1.4.2.1. - Déchets industriels dangereux :

a) - Déchets toxiques :

Ce sont en partie, les sels de trempe résiduaire, des ateliers de traitements thermiques (S.N.V.I/C.V.I), le sel de cuivre et de mercure, les phénols, les effluents des ateliers de galvanisation chargés de produits cyanurés et de chromates, dont la toxicité est très grande aussi bien pour la faune et la flore que pour l'homme.

b) - Déchets acides :

Ils proviennent d'unités de synthèse organique ou minérale, d'ateliers de traitement de surface (S.N.S). Il s'agit le plus souvent de Hcl, H_2SO_4 , HNO_3 ainsi que les composés organiques à caractère acide (dérivés polynitrés, fluorés, etc...).

c) - Déchets basiques :

L'exemple type est constitué par les déchets alcalins hydroxylés qui sont produits en quantités importantes par les industries chimiques de synthèse, les raffineries, les ateliers de traitements électrolytiques etc...

d) - Déchets combustibles :

Ce sont les huiles et les solvants organiques usés, les hydrocarbures divers, les boues à caractère organique engendrées par un grand nombre d'industrie de synthèse et pétrolières (SONATRACH).

1.4.2.2. - Les Autres Déchets :

a) - Déchets industriels spécifiques :

X
Aux déchets inertes se rattachent les déblais, gravats, scories et verres, etc..., leur composition est essentiellement minérale et n'est sujette à aucune évolution chimique. Contrairement aux précédents, les déchets non inertes sont sujets à évolution et transformation chimique. Ce sont les plastiques, pneumatiques, caoutchouc, bois, papier et tous les résidus fermentescibles, tels que les déchets d'industries alimentaires.

b) - Déchets industriels assimilables aux ordures ménagères :

Ils sont en majeure partie constitués de résidus dont la composition est très voisine de celle des ordures ménagères. Ce sont les emballages, chiffons, balayures, déchets de centimes, etc....

Les organismes et sociétés déversant des produits avariés et des déchets industriels à la décharge de Oued-Smar sont résumés dans le tableau 8.

1.5. - CARACTERISATION DES DECHETS DE LA VILLE D'ALGER :

Les déchets de la ville d'Alger présentent une très forte proportion en matières organiques.

Leur composition globale est reprise dans le tableau 9.

(28)

TABLEAU '9 :

ETAT DES ORGANISMES ET SOCIETES DEVERSANT DES
PRODUITS AVARIES - DECHETS INDUSTRIELS A LA
DECHARGE PUBLIQUE DE OUED-SMAR

ORGANISMES ET SOCIETES	NATURES DES DECHETS OU PRODUITS
- S.N.T.A. 20, Rue Med TAZIELET - B.EO.ALGER	Jet d'Allumettes et Déchets de poudre de tabacs.
- S.A.T.I. Badjarah BP.436-H.Dey - ALGER	Déchets Caoutchouc
- S.M.I.C. Oued-Smar - EL-HARRACH	Tous produits chimiques
- ASMIDAL - DAR-EL-BEIDA	Tous produits industriels
- SONATRACH - Sidi Aezine BP.135/ALGER	Produits chimiques
- O.N.C.V. Unité de Conditionnement et Vente - Mohammadia - El-Harrach/Alger	Déchets de verre
- SOPACO - 15, Rue TABOUNT Belkacem ex.Kleber EL-HARRACH/ALGER	Tous papiers et cartons.
- TISS-AFRIX- 34 & 36, Rue Hassen BEY EL-Harrach - ALGER	Déchets de Fer.
- ALFREIX - Oued-Smar-El-Harrach/ALGER O.G.A. - Dépôt Côte Rouge - H.Dey/ALGER	Déchets Caoutchouc et Plastiques. Conserves alimentaires, papiers, cartons de toutes les unités.
- Unité de Transformation de Plastiques 31, Rue Med KOUIDRI - EL-BIAR	Tous déchets de plastiques.
- Papiers - 4, Rue Arezki BENBOUZID AL. par Oued-Smar - El-Harrach/ALGER	Déchets de papiers, cartons etc... Déchets de bois et de copeaux.
- I.L.P. DISTRICH/CENTRE SONACOME et Toutes Unités de ROUIBA	Déchets pétrochimiques. Toutes sortes de déchets.
- P.T.T./Wilaya d'ALGER	Toutes sortes de déchets papiers et cartons.
- ORLAC. Unité de Production Laiterie UPL 101, Les Verges - BIRKADEM/ALGER	Déchets de plastiques.
- P.C. BP.336	Déchets de caoutchouc et plastiques
- SONATRACH - Diverses Unités	Toutes sortes de déchets.
- S.N.S. Toutes Unités, 3, Rue de Tripoli ALGER	Ferrailles et décombres.
- S.N.T.A. UP 20 COURAYA Ali 20, Rue Mohamed TAZAIRET B.E.O./ALGER	Déchets de Tabacs et allumettes
- Entreprise Nationale des Peintures Unité de Oued-Smar - EL-HARRACH	Déchets de produits chimiques.
- PAL, 41, Rue Hamadi FERHANE -H.DEY/ALGER D.P. Raffinerie d'Alger/Département	Tous produits pharmaceutiques.
Maintenance Sidi-Arzine Société Algérienne de Meubles- 48, Avenue Ahcène ASKRI/ALGER	Déchets Produits chimiques. Déchets de copeaux de bois Déchets toutes sortes.
ICE DES PORTS	Toutes sortes de déchets industriels
- C.F.A.	Déchets de verres.
- E.M. Entreprise Nationale des Eaux	Déchets des copeaux en aciers et autres de verres.
- T.A Industriels	Déchets de Cuir et Tissus.
- Entreprise d'Habillement et Chaussures de l'A.L.N. - 148, Av. de l'A.L.N.H.DEY	Déchets de Fonderies et industriels
- Entreprise Nationale de Fonderies Unité Fonderie d'El-Harrach	Déchets de verres et peintures.
- Société d'Application de Peintures et de Vitres - Rue, Arezki Kamel MAGHNI H.DEY/ALGER	

TABLEAU 9 :

CLASSIFICATION DES DECHETS DE LA VILLE D'ALGER

MATIERES	POIDS (Kg)	POIDS en %
Matières organiques	28,75	79,86
Matières plastiques	1,30	3,61
Papiers, Cartons	4,50	12,50
Textiles, Cuir	0,45	1,25
Bois	0,30	0,83
Métaux	0,45	1,25
Inertes	0,25	0,70
T O T A L	36,00	100,00

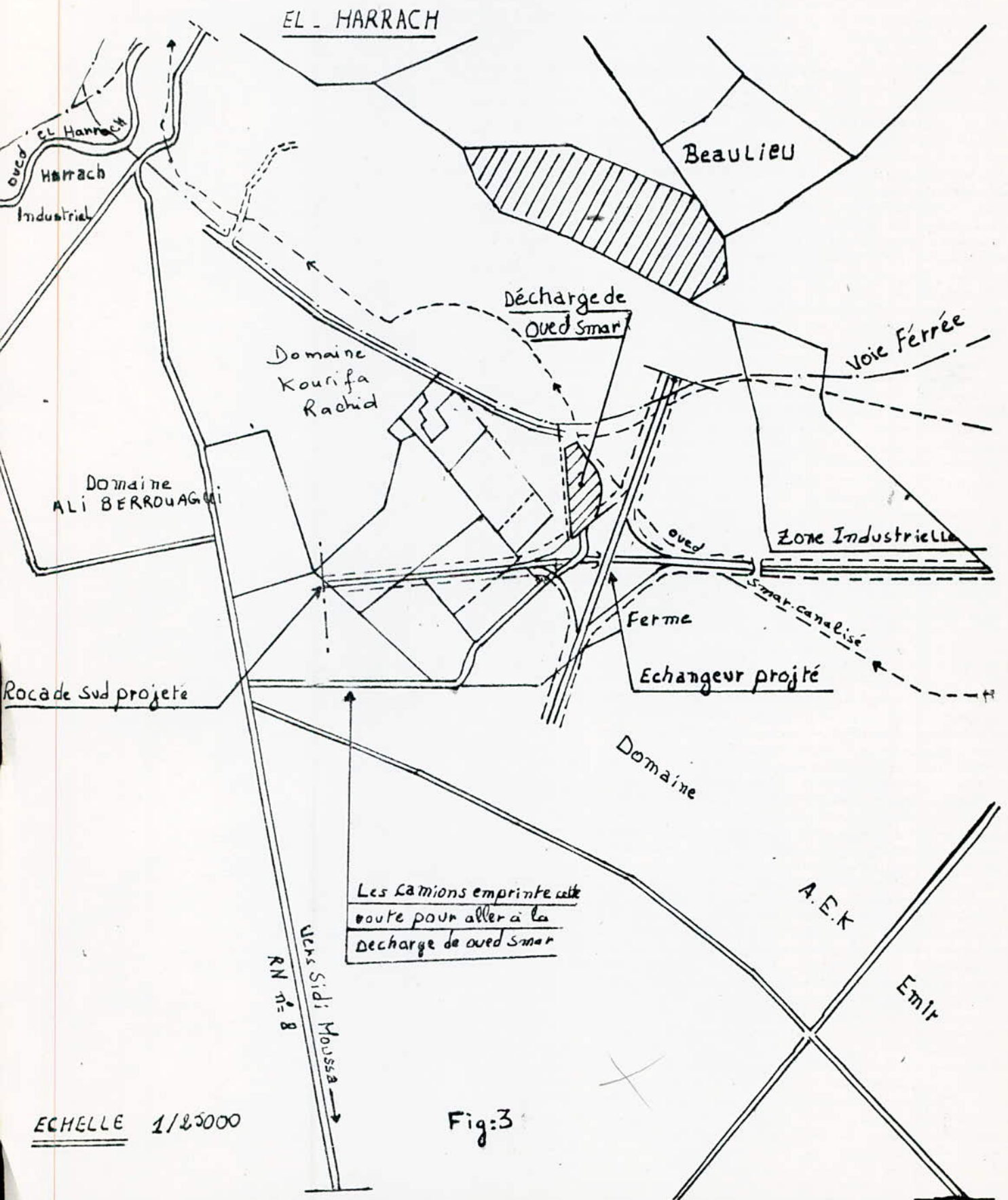
L'étude des caractéristiques physico-chimiques de ces mêmes déchets montre une teneur élevée en matières volatiles et une importante humidité qui contribuera certainement au lessivage de certaines matières et au flux et volume de lixiviat. Nous représentons dans le tableau 10 les caractéristiques physico-chimiques des déchets de la ville d'Alger.

TABLEAU 10:

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES DECHETS
DE LA VILLE D'ALGER (28)

Paramètres Physico- Chimiques	PH	Teneur en Eau %	Matières Sèches %	Matières Volatiles %	Cendres %	Carbone %	Azote	C/N
ALGER	6,2	66	34	87,86	12,14	56,85	1,32	43

PLAN DE SITUATION



ECHELLE 1/25000

Fig:3

CHAPITRE II

ETUDE ET ANALYSE DES DONNEES GEOLOGIQUES ET
HYDROGEOLOGIQUES DE LA ZONE DE OUED-SMAR

2.1. - INTRODUCTION :

X Les risques de pollution des eaux souterraines par les décharges dépendent non seulement de la nature physique et chimique, des déchets rejetés et de la technique de mise en dépôt, mais et surtout des conditions géologiques et hydrogéologiques du site qui devront être soigneusement examinées avant l'ouverture de la décharge et contrôlées pendant et même après l'exploitation.

L'examen géologique concerne la détermination de la structure des couches géologiques superficielles et leur perméabilité, quant à l'étude hydrogéologique, elle permet de connaître la structure géométrique de la nappe, son sens de l'écoulement, et les paramètres hydrodynamiques, à savoir, la transmissivité, la perméabilité de la nappe et la vitesse d'écoulement.

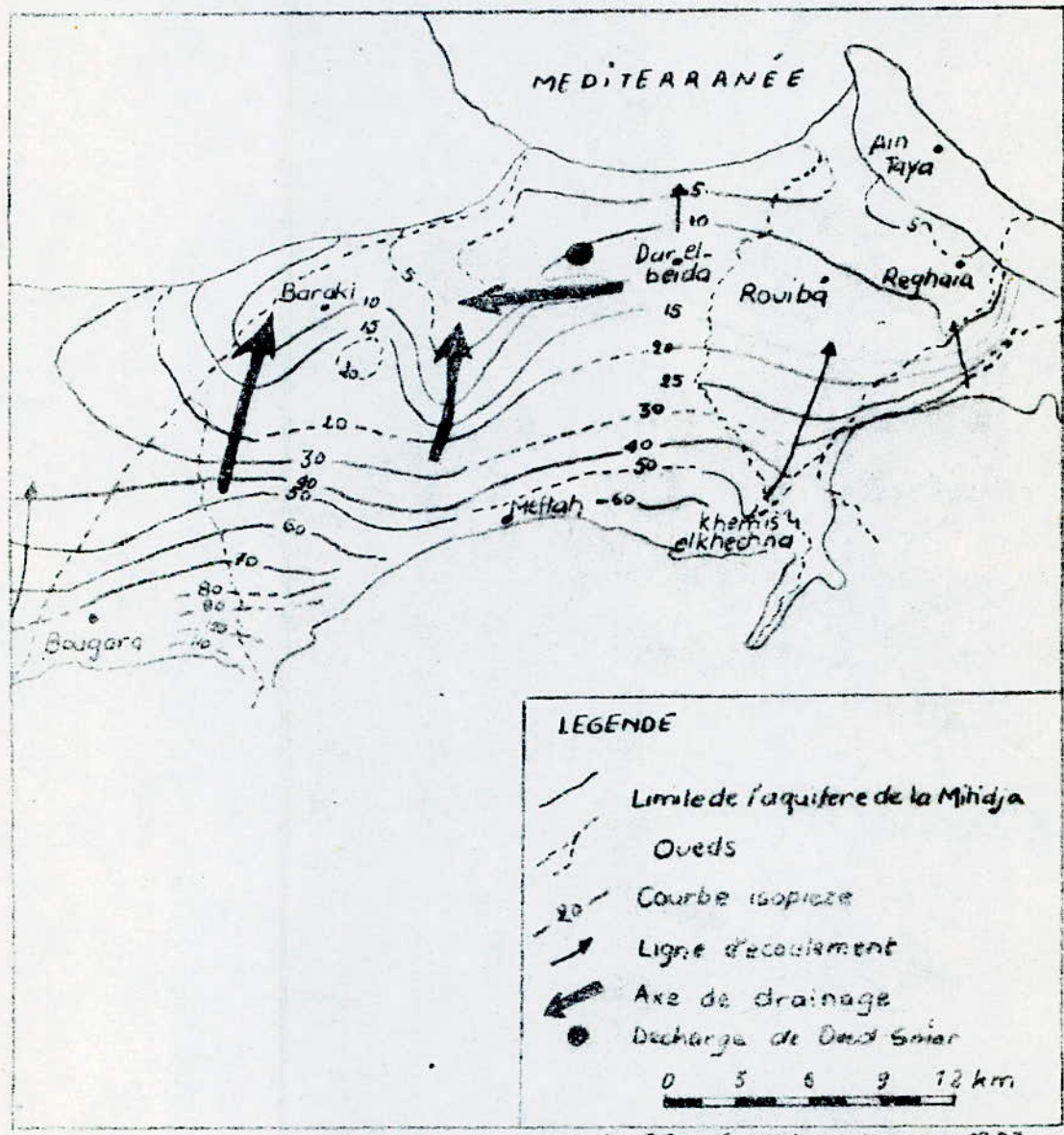
2.2. - NAPPE SOUTERRAINE SUPERFICIELLE DE OUED-SMAR :

X La nappe souterraine de Oued-Smar fait partie de la vaste nappe aquifère de la Mitidja, qui s'étend sur une superficie de quelques centaines de kilomètres carrés (Km²).

Elle est formée des alluvions de l'ère quaternaire (29) et est alimentée par les eaux de pluie, les eaux des oueds, les eaux de ruissellement des montagnes, par les rivières des petits versants existants dans la plaine et les écoulements souterrains de Khemis El-Khechna et Meftah.

Les limites géographiques de l'aquifère et son hydrodynamisme sont représentés sur la (Fig.6).

Fig 6 : Carte piezometrique de l'aquifere de la Mitidja



D'après BENNIE and partners -1983-

X

2.2.1. - Hydrodynamisme de la Nappe :

Dans la Fig.6) nous représentons le sens de l'écoulement dans la zone de Oued-Smar qui est matérialisé par des perpendiculaires aux courbes isopièzes. Il se fait du Sud vers le Nord (la mer représente l'exutoir souterrain de la nappe). Cependant, on note l'existence d'un axe de drainage, c'est-à-dire une convergence des eaux souterraines vers l'ouest de la décharge, qui correspond à trois champs de captage : Adda au Nord-Ouest, Baraki à l'Ouest et Haouch Felit au Sud, de la décharge (le champ de captage de Baraki étant le plus important, (fig.7)).

a) Estimation de quelques paramètres hydrodynamiques de la nappe

- La transmissivité (T) :

La transmissivité est égale au produit du coefficient de perméabilité (K) par l'épaisseur de l'aquifère (e).

Elle s'exprime en m^2/s

$$T = K(m/s) \cdot e(m) \quad (30)$$

La transmissivité de la zone de Oued-Smar a été lue sur la carte de transmissivité de l'aquifère de la Mitidja (Fig.8), elle est de $500 m^2/j$

$$T = 5,78 \times 10^{-3} m^2/s$$

Ce paramètre nous permettra de déterminer la perméabilité de la nappe.

- La perméabilité :

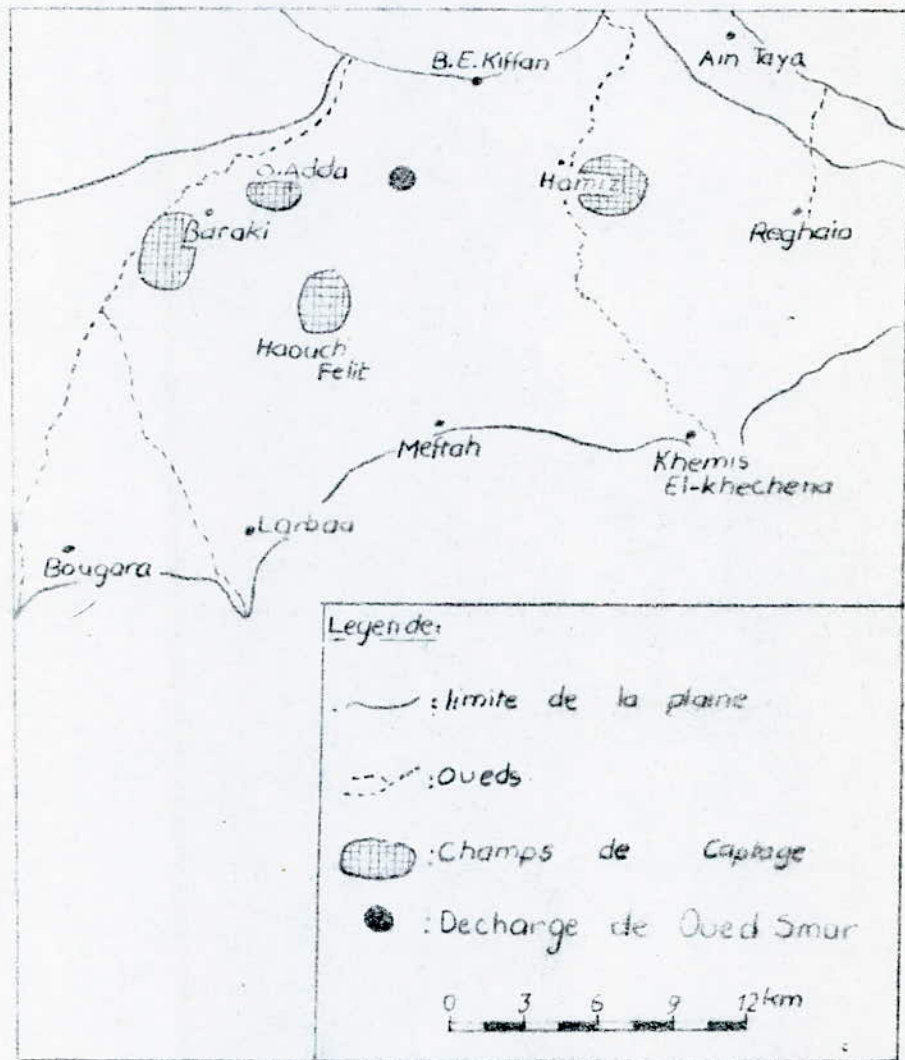
La perméabilité de la nappe peut être déterminée à partir de la formule $T = Ke$

T = transmissivité (m^2/s)

K = coefficient de Darcy (m/s)

e = épaisseur des couches perméables au dessous du niveau piézométrique.

Fig 7. Carte de localisation des
champs de captage



D'après BENNIE and Forteners
- 1983 -

On a choisi comme exemple le forage n° 1 qui se trouve à l'ouest à 1,2 Km de la décharge (voir plan photogrammétrique de la Mitidja).

Pour la détermination de l'épaisseur (e) on a considéré la somme des parties à crépines (fig.9)

$$T = 5,78 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$e \approx 50 \text{ m}$$

$$K = 1,16 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Ce résultat nous montre que nous sommes vraisemblablement en présence d'une nappe perméable, qui peut donc être vulnérable à la pollution si cette dernière atteint les couches superficielles de l'aquifère.

X 2.2.2. - Détermination de la Profondeur de la Surface des Eaux Souterraines :

La profondeur de la surface des eaux souterraines est déterminée par mesure du niveau d'eau dans un ouvrage (forage ou puits) sans pompage c'est-à-dire par mesure du niveau statique, elle nous rend compte du parcours que doit faire le front de pollution pour atteindre le niveau supérieur de la nappe.

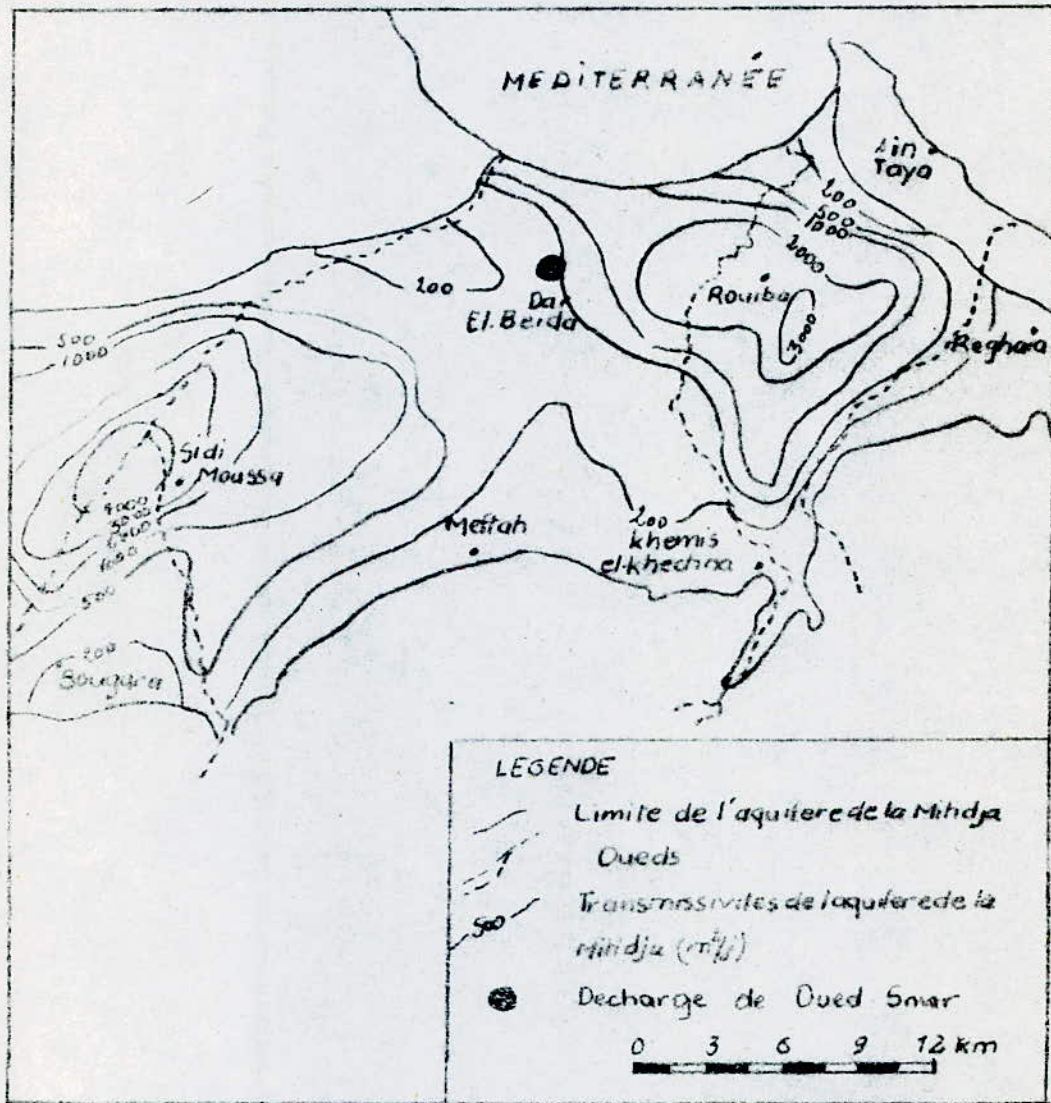
A l'exception des hauts piémonts de Bougara et de Khemis-El-Khechna (où l'eau est à 40 m sous le sol), la nappe de la Mitidja n'est jamais très profonde, notamment : (31)

- BARAKI : 10 à 15 m
- SIDI-MOUSSA : 15 m environ
- OUED-SMAR : 10 à 20 m
- HAOUCH FELIT : 20 m environ
- EL-HARRACH : 5 à 15 m

Les mesures et sondages que nous avons réalisés sur terrain en collaboration avec la D.E.M.R.H. ont donné des niveaux statiques allant de 20 à 24 m.

Le tableau 11 nous résume les résultats obtenus.

Fig 8 : Transmissivités de l'aquifère de la mitidja



D'après BENNIE and partners - 1983 -

TABLEAU 11 :

La Profondeur de la Surface des Eaux Souterraines
de quelques Forages

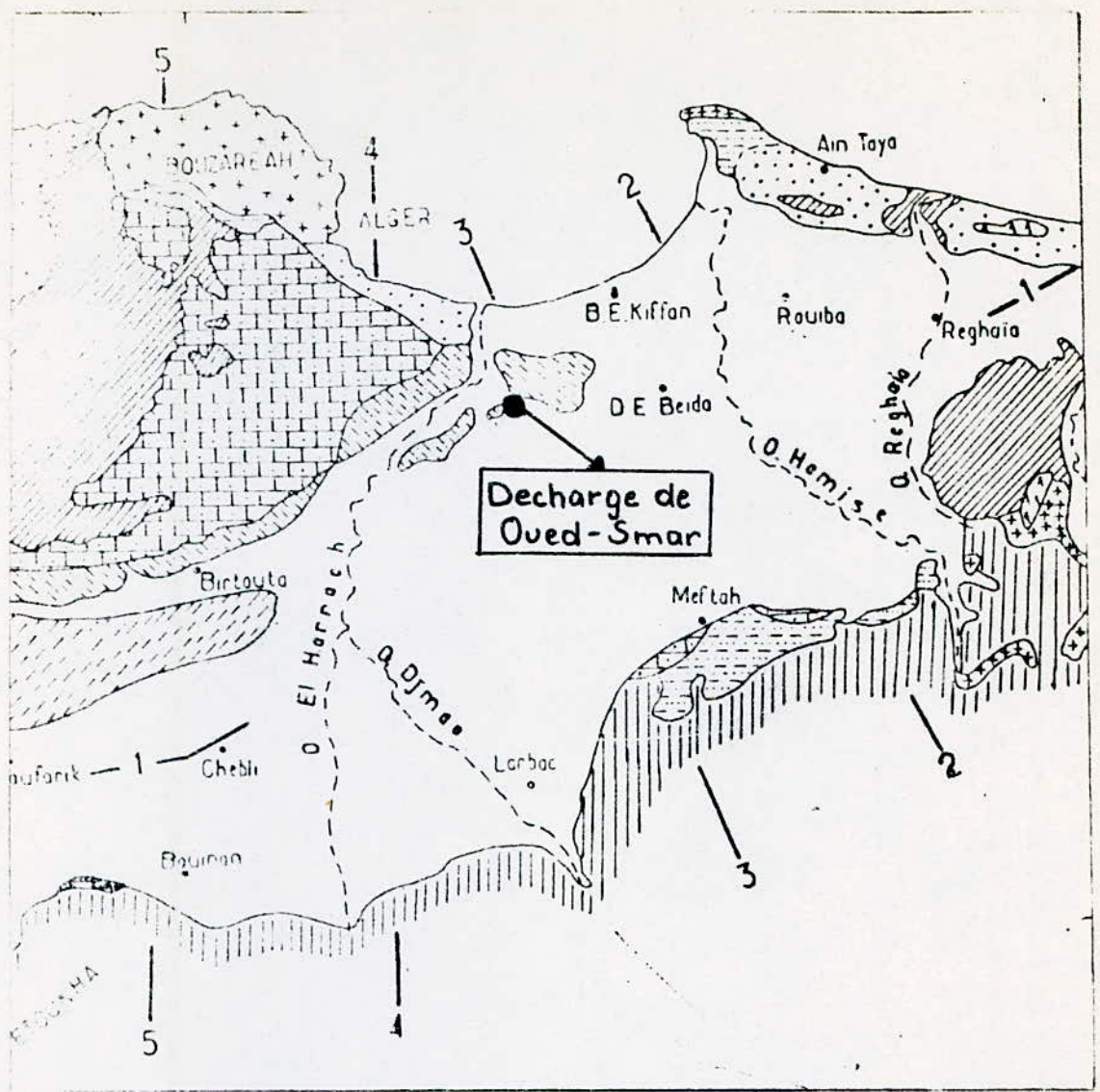
	N° du Forage	Niveau Statique (m)
DOMAINE AGRICOLE KOURIFA Rachid	01	23
	02	23, 7
	03	23, 6
	04	23, 6
	05	09, 0
ZONE INDUSTRIELLE	S A I D A L	19, 5
	E R I A D	23, 25











Ces résultats montrent que les eaux souterraines dans la zone de Oued-Smar se trouvent à une profondeur relativement importante. Cette couche de sol supérieur épaisse de quelques 20 m, représente une bonne protection de l'eau. Cependant, il est important de noter qu'il ne faut pas compter pendant longtemps sur le pouvoir épurateur de cette couche protectrice quelle que soit sa profondeur, car elle peut atteindre le seuil limite de saturation.

2.3. - APERCU GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE :

La zone de Oued-Smar fait partie de la plaine de la Mitidja qui est une région de subsidence continue. Cette subsidence a donné naissance à une sédimentation active dont les éléments proviennent essentiellement des reliefs de l'Atlas Blidéen. (32)

Par ailleurs, les consultations des cartes hydrogéologique de la région d'Alger (33) et géologique de la région de la Mitidja, (Fig.10)(34) ont révélé que la décharge de Oued-Smar pourrait être située entre deux formations distinctes : (32)



- | | | | |
|--|---|---|---|
|  | Calcaires gresseux, calcaires construits
marnes jaunes |  | Formation de Mazafran et de Halloula à
predominance limoneuse et argileuse |
|  | Marnes et argiles bleues |  | Formation de la Mitidja, alluvions
de graviers et d'argiles |
|  | Roches sedimentaires du miocene |  | Formation d'El Harrach, Argiles et cailloutis |
|  | Roches sedimentaires du cretace-oligocene |  | Formation donaire consolidee |
|  | Roches metamorphiques | | |
|  | Roches eruptives | | |

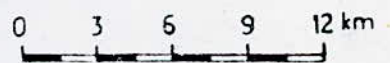


Fig. 10: Carte geologique de la région de la Mitidja
(D'après Benny and partners 1965)

- Formation de la Mitidja qui comprend des matériaux grossiers : graviers et galets avec des limons ou des argiles;

X - Formation d'El-Harrach (Villa franchien) qui est connue sous le nom de formation de marnes d'El-Harrach qui est une séquence relativement uniforme d'argiles jaunâtres ou grises par endroit avec quelques cailloutis et lentilles de graviers épais de 2 à 6 m. En effet, les coupes lithologiques (Fig.9, 11, et 12) montrent que la zone de Oued-Smar est de formation à prédominance argileuse jusqu'à 20 m et plus.

Le tableau 12 nous renseigne sur les caractéristiques de ces forages.

N° du Forage	1	6	7	8	9
X	540,100	543,000	544,050	543,250	543,430
Y	377,980	378,000	378,320	377,500	378,260
Situation par rapport à la décharge	Ouest Domaine Kourifa Rachid	EST Z O N E I N D U S T R I E L L E			
Niveau Statique (m)	23,00	-	21,00	-	5,50
Niveau Dynamique(m)	35,00	-	25,40	-	10,00
Année de Réalisation	1987	1961	1985	1985	1981

De plus les mesures de perméabilité réalisées par la S O N I C sur l'ensemble des forages qui existent au niveau de cette entreprise, ont donné les résultats suivants :

a) - $K = 6 \cdot 10^{-10}$ m/s pour l'argile jaune-brunâtre allant jusqu'à 5 m de profondeur.

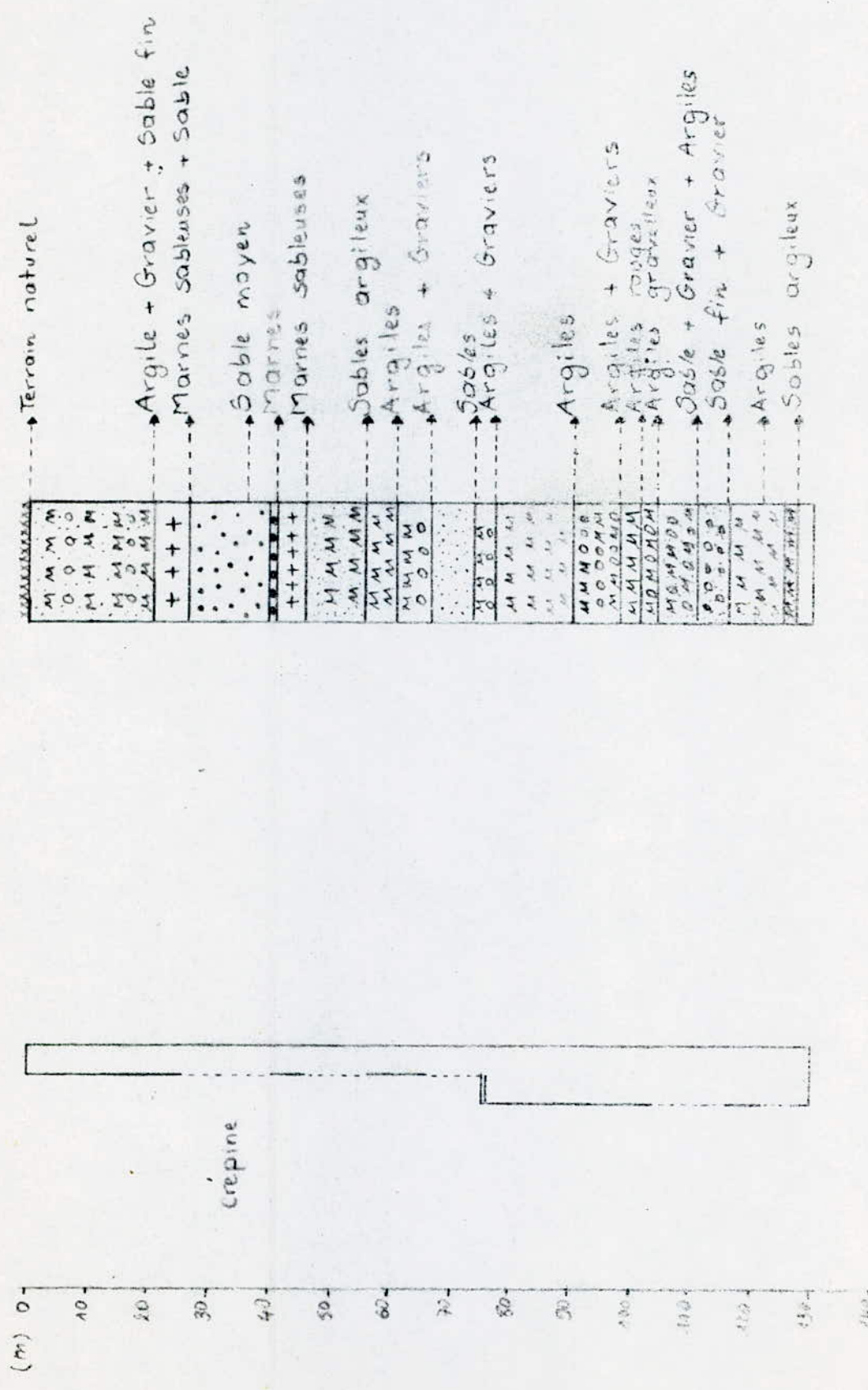


Fig. 2 : Coupe lithologique de forage n° 1
 (Source : SEMPH)

Fig. 1 : Coupes lithologiques 8 et 9 (Source ANRT)

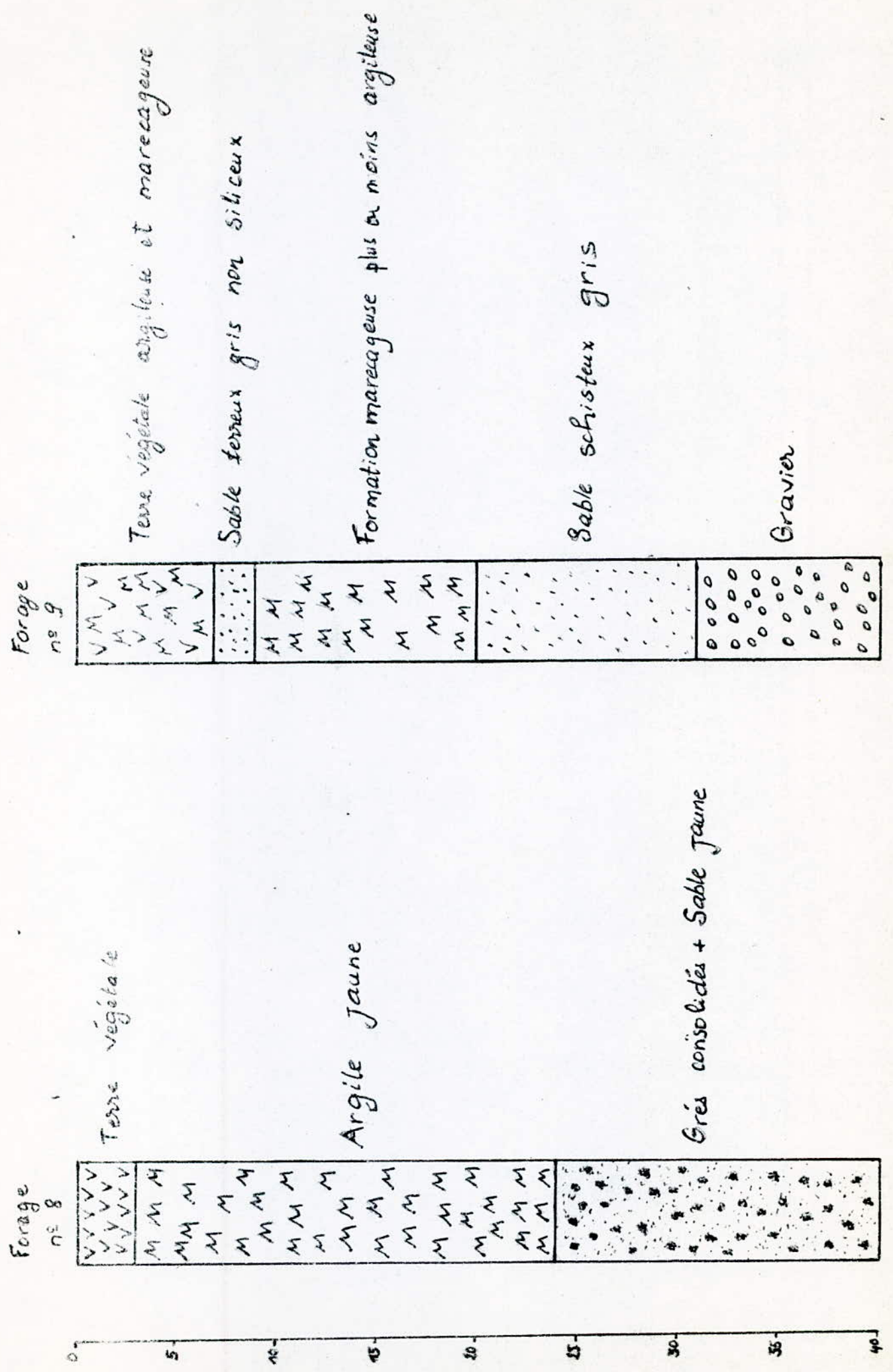
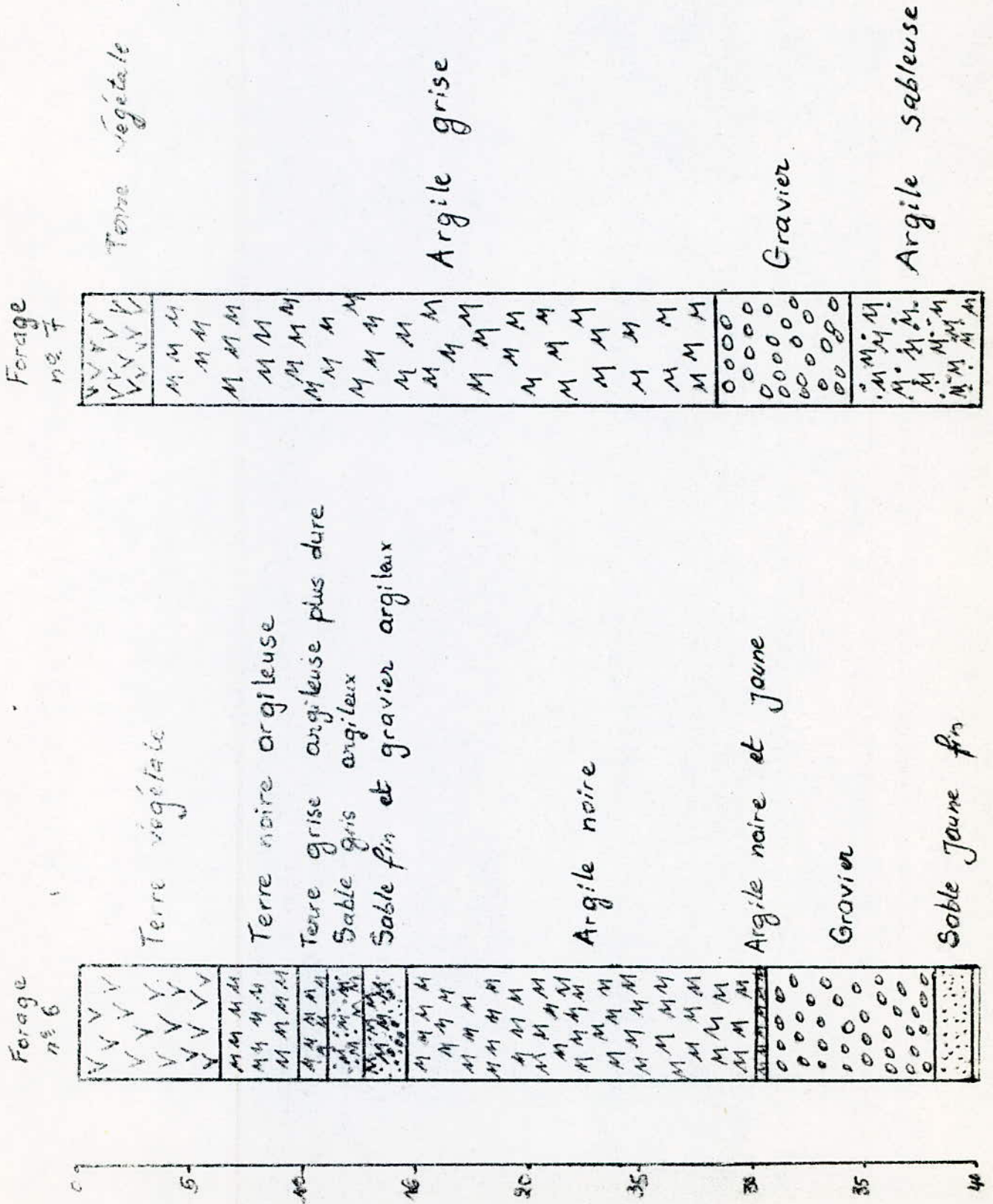


Fig 12 : Coupes Lithologiques 6 et 7 (Source : ANRH)



b) - $K = 5 \cdot 10^{-11}$ m/s pour l'argile bleuâtre allant jusqu'à 8 m de profondeur.

Quant à l'étude faite avec l'aide du laboratoire de l'établissement militaire des études techniques d'infrastructure sur "six" échantillons du site de la décharge, elle a montré que sur une profondeur de 0,4 à 1,2 m, la perméabilité est de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-11} m/s (35).

N° du Puits	Profondeur (m)	K (m/s)	DESCRIPTIONS
01	0,7	$8,17 \cdot 10^{-7}$	Limon argileux (faible perméabilité)
02	0,7	$1,22 \cdot 10^{-7}$	Sable limoneux argileux (faible perméabilité)
03	1,0	$6,86 \cdot 10^{-10}$	Argile homogène (imperméable)
04	1,2	$1,85 \cdot 10^{-10}$	Argile homogène (imperméable)
05	0,4	$5,76 \cdot 10^{-9}$	Argile légèrement limoneux (imperméable)
06	1,1	$4,53 \cdot 10^{-11}$	Argile homogène (imperméable)

D'après les caractéristiques des coupes lithologiques des forages cités et les mesures de perméabilités réalisées, on peut dire que le sol de la décharge de Oued-Smar, s'il n'est pas imperméable, il est probablement semi-perméable. Ce qui corrobore l'analyse granulométrique faite par l'Institut de Développement des grandes Cultures (IDGC) sur la zone de Oued-Smar,

LF % (limons fins) = 17,50

LG % (limons grossiers) = 06,02

SF % (sables fins) = 15,79

SG % (sables grossiers) = 12,00

A % (argiles) = 45,00

et qui confère au sol une faible perméabilité.

2.4. - CONCLUSION :

X A la lumière de cet aperçu géologique et hydrogéologique de la zone d'étude, on peut dire que la nappe souterraine pourrait être naturellement protégée, cependant, du fait que la décharge de Oued-Smar soit ouverte depuis 1978 (12 ans), et qu'elle reçoit toutes sortes de déchets sans aucun contrôle préalable, les risques de pollution pourraient s'accroître, car au long de toutes ces années, le site, même s'il est imperméable, aurait pu, d'une part, atteindre le stade ultime de saturation et d'autre part, subir des altérations ou modifications de sa structure, dues aux différents phénomènes physico-chimiques qui s'y produisent.

C'est pourquoi des analyses chimiques et biologiques strictes devraient être régulièrement faites pour les eaux souterraines des zones avoisinantes, particulièrement à l'Ouest de la décharge (sens de l'axe de drainage).

CHAPITRE III. CARACTERISATION DES LIXIVIATS ET ANALYSE
DES EAUX DE FORAGE.

3.1. - Introduction :

Les risques de pollution des eaux souterraines par la décharge de Qued - Smar , peuvent être estimés en fonction du contenu organique ou minéral de celle - ci, qui par des phénomènes de lixiviation peut atteindre la nappe. En d'autres termes, le risque majeur de pollution réside dans l'entraînement, par les eaux, d'éléments polluants contenus dans les déchets. La caractérisation des déchets doit donc privilégier l'étude des interactions entre l'eau et les déchets, interactions qui donnent naissance aux lixiviats ou percolats. Le lixiviat est le vecteur dans l'environnement souterrain des espèces polluantes générés par ces interactions et évolution des déchets.

Aussi nous nous attachons dans ce chapitre à présenter les résultats obtenus lors de la caractérisation de divers percolats prélevés en divers points de la décharge.

Nous présentons aussi les résultats obtenus sur les analyses des eaux souterraines prélevées au niveau de quelques forages situés à proximité de la décharge plus exactement à l'est et à l'ouest de celle-ci.

Ces dernières analyses nous permettront de voir s'il y a éventuellement contamination de la nappe aquifère par infiltration des percolats de déchets.

3.2. - Points de prélèvement :

Comme la décharge de Oued - Smar ne possède pas un système de drainage pour la collecte des lixiviats, les échantillons ont été prélevés au niveau de fosses dont la surface peut atteindre jusqu'à 30 m² et la profondeur jusqu'à 2 m. Ces fosses sont disposées de façon à ce qu'elles ceinturent en partie la décharge. L'écoulement de la percolats dans la décharge suit vraisemblablement des chemins préférentiels et aboutit en grande partie dans ces fosses.

L'environnement immédiat de ces fosses se distingue aussi par la nature des déchets qui s'y trouvent à proximité ou en contact direct. L'échantillonnage a porté donc sur les quatre points de prélèvement suivants :

Point de prélèvement	Environnement immédiat
point n° 1	Ordures ménagères prépondérantes.
point n° 2	Ordures ménagères + déchets plastiques.
point n° 3	Feraille + boue .
point n° 4	Feraille.

Pour les eaux souterraines on a fait des prélèvements au niveau de cinq forages du domaine Kourifa Râchid qui se trouve à l'ouest de la décharge, c'est à dire dans le sens de l'axe de drainage (Fig. 4) et deux prélèvements à l'est de la décharge dans la zone industrielle (à savoir SAIDAL et SONIC).

3.3. - Paramètres étudiés :

Entre les paramètres classiques de pollution tels que le pH , la DCO , les matières en suspension, l'azote sous ces diverses formes etc.. , nous avons effectué le dosage de divers métaux lourds contenus dans les déchets industriels et qui sont susceptibles de se solubiliser en contact de l'eau ou de tout autre milieu plus agressif tel que le lixiviat lui même.

3.4. - Analyse des lixiviats :

Les paramètres étudiés et les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux n° 12, 13, 14 et 15 correspondant aux cinq campagnes de prélèvement auprès des points n° 1, 2, 3, et 4.

TABLEAU 12 /: Résultats des analyses des prélèvement sur lixiviats aux points 2,3 et 4.

Date de prélèvement : 24/03/1990.

Paramètres Analyses	2	3	4
Couleur	Grisatre	Grisatre	Grisatre
Odeur	Naseabonde	Nauseabonde	Nauseabonde
T° °C	16,8	16,0	19,3
PH	8	8,5	7,5
O ₂ (Mg/L)	1,2	0,4	1,3
DCO(Mg/L)	836	849	7818
Acidite			
Totale	16,3	12	13,6
Meq / L			
TAC (Meq/L	211	159	200
(PO ₄) Mg /L	15,5	15,5	17,5
(Cl) Mg / L	9159	7775	6319
(NO ₃) Mg /L	2350	1256	1363
(NH ₄) Mg / L	383	945	235
(SO ₄) Mg / L	30,6	92	22
Matière totale à 105 °C G / L	11,2	12,11	15,22
Matière minérale à 550 °C G/L	2,2	2,55	4,22
Matière organique Totale G / L	9,0	9,55	0,11

TABLEAU N° 13 : Résultats des analyses des lixiviats prélevés aux points n° 2, 3 et 4.

Date de prélèvement : 10 - 04 - 1990

Paramètres analyses	2	3	4
Couleur	gris - noirâtre	grisâtre	jaunâtre
Odour	nauséabonde	nauséabonde	nauséabonde
T° °C	17	17,1	18,6
pH	8,5	8	7,5
O ₂ mg/l	1,1	0,4	1,3
DCO (mg d'O ₂ /l)	980	1154	2691
acidité totale en m.eq/l	8,4	10,8	8,8
TAC m.eq/l	96	132	35
(PO ₄ ²⁻) ng/l	17,5	22,5	37,5
(Cl ⁻) ng/l	7100	7952	2911
(NO ₃ ⁻) ng/l	3862	3749	3976
(NH ₄ ⁺) ng/l	327,5	378,5	237,5
(SO ₄ ²⁻) ng/l	29	27	114
Matière totale à 105°C : g/l	15	13,20	10,85
Matière minérale à 55°C : g/l	2,75	2,5	5,25
Matière organique totale g/l	12,25	10,70	5,60

* prélèvement au centre de la décharge.

TABLE N° 14 :

RESULTATS DES ANALYSES DES PRELEVEMENTS
SUR LES LIXIVIATS AUX POINTS 1, 2, 3 ET 4

LATE DU PRELEVEMENT : 14/04/19 0.

N°	1	2	3	4
T° °C	16,6	17,1	17,4	17,2
Couleur	Gris-Noirâtre	gris-noirâtre	Noirâtre	Jaurâtre
Odeur	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde
pH	7,5	8	8	8
O ₂ MG/L	0,5	0,6	0,4	0,5
ECO MGO ₂ /L	7882	14778	9359	11828
Acidité Total	13	32	18	14
T A C	210	347,5	225	217,5
(PO ₄ ²⁻)	23,5	107,5	20	20
(U ⁻)	8875	11005	6674	6242
(NO ₃ ⁻)	443	670,5	579,5	409
(NH ₄ ⁺)	341,2	502,89	642	462
(SO ₄ ²⁻)	27,5	82,5	11	9
Résidu sec à 105°C	17,275	36,655	14,015	15,15
Résidu Sec à 550°C	7,5	14,585	3,01	1,65
Matières Organiques Totales	9,775	22,07	11	13,5

TABLEAU N° 15:

RESULTATS DES ANALYSES DES LIQUIDES PRELEVES
AUX POINTS N° 1, 2, 3 et 4

DATE DU PRELEVEMENT : 8/ 05/ 1990.

N°	1	2	3	4
Couleur	Gris-Noirâtre	Gris-Noirâtre	Noirâtre	Jaunâtre
Odeur	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde	Nauséabonde
T° C	17,6	18,1	18,4	18,2
pH	7,5	8	7	8,5
O ₂ mg/L	0,5	0,6	0,04	0,05
D C O mg d'O ₂ /L	7592	2500	2593	1852
Acidité totale mg/L	15	6,8	6,8	2,8
TAV mg/L	60	136	157	35
(NO ₃ ⁻) mg/L	1035	1830	1115	1132
(NO ₂ ⁻) mg/L	935	800	832	235
(SO ₄ ²⁻) mg/L	35,2	81,3	14	12
(SO ₄ ²⁻) mg/L	22,0	23,3	22,5	21,5
Matière totale à 105°C g/L	32,425	16,34	15,415	9,68

TABEAU 15 (SUITE)

Matières minérales totales g/l	20,825	2,09	10,315	0,28
Matière organique totale g/l	18,6	14,25	5,1	9,4
(Zn ²⁺) ng/l	1,32	0,26	0,53	3,80
(Cu ²⁺) ng/l	0,10	0,08	0,07	0,09
Cr total ng/l	1,31	0,25	0,22	0,04
(Cd ²⁺) ng/l	0,05	0,02	0,02	0,00
(Pb ²⁺) ng/l	0,55	0,22	inf 0,2	0,23
Po total ng/l	52,6	8,90	4,20	4,79

Tableau n°16 : Résultats des analyses des liziviats prélevés
aux points n° 1, 2, 3 et 4.

Date de prélèvement : 26 - 05 - 1990

Paramètres analyses	1	2	3	4
Couleur	grisâtre	gris-noirâtre	gris-noirâtre	jaunâtre
Odeur	nauséabando	nauséab.	nauséabando	nauséab.
T°C	23,5	23,5	26,3	25,0
pH	8	7,5	8	8
O ₂ mg/l	0,8	0,9	0,04	0,08
DCC (mg d'O ₂ /l)	13900	7800	2692	10350
Acidité totale m.eq/l	30,6	15	11,5	13,6
TAC m.eq/l	314	219	180	205
(PO ₄ ²⁻) mg/l	35	24	22	22,5
(Cl ⁻) mg/l	11000	7750	7674	6342
(NO ₃ ⁻) mg/l	2610	2838	1362	1476
(NO ₂ ⁻) mg/l	920	650	700	...
(NH ₄ ⁻) mg/l	503	250	530	1045
(NH ₄ ⁺) mg/l	2160	1360	1600	1380
(SO ₄ ²⁻) mg/l	90	27,3	12	10
Matière totale à 105°C mg/l	35,3	16,22	14,22	12,15
Matière minérale à 550°C mg/l	13,2	5,55	4,02	1,3

TABLEAU N° 16 (SUITE)

Matière organique totale g/l	22,1	9,67	10,20	10,85
DBO ₅ mg/l	3000	1400	600	800
Conductivité en ns/cm	34	28	23	24,2
(Zn ²⁺) mg / l	0,95	0,56	0,38	0,25
(Cu ²⁺) mg / l	0,11	0,06	0,05	0,07
(Cr ²⁺) mg / l	0,86	0,86	0,19	0,16
(Cd ²⁺) mg / l	0,02	0,02	0,01	0,00
(Pb ²⁺) mg / l	0,30	0,20	inf 0,2	0,20
(Mn ²⁺) mg / l	0,30	0,04	0,04	0,28
Fe total	24,6	7,72	5,76	7,52

3.5. - Analyse des eaux souterraines

Les résultats des analyses effectuées sur les eaux souterraines prélevées auprès des cinq forages F1 , F2 , F3 , F4 et F5 et situés à l'ouest de la décharge au niveau du domaine agricole KOUKLETA RACHLE sont résumés dans les tableaux 17 et 18.

Le tableau n° 19 , résume les résultats des analyses effectuées sur des échantillons prélevés au point SAIDAL et au point SONIC (profondeur 5,7 m).

TABELLA N° 17 :

RESULTATS DES ANALYSES DES EAUX SOUTERRAINES
PRELEVEES AUPRES FORNAGES F1 A F5

DATE DE PRELEVEMENT : 20 / 05 / 1990.

N° Paramètres Analyses	F1	F2	F3	F4	F5
Conductivité *X	539,15	539,6	340,3	378,5	540
Conductivité *Y	377,98	377,5	377,3	376,8	378,5
Odeur	Inodore	Inodore	Inodore	Inodore	Inodore
Couleur	Transpar.	Transpar.	Transpar.	Transpar.	Transpar.
Niveau Dynamique	33,7	33,8	33,6	33,6	15,5
T° C	21,5	22	22	21,5	21,5
pH	7	7	7	7	7
O ₂ mg/l	-	-	-	-	-
DCO (mgd'O ₂ /l)	152	44	65	44	87
Acidité totale p. 0,1	0,56	0,6	0,48	0,6	0,56
T A C mg/L	3,84	5,84	5,20	5,25	7,04
(PO ₄ ²⁻) mg/L	0,22	0,05	0,3	0	0,97
(CL ⁻) mg/L	3266	241,4	241,4	255,6	383,4
(NO ₃ ⁻) mg/L	14,53	12,94	4,1	7,72	15,7
(NH ₂ ⁻) mg/L	-	-	-	-	-
(NH ₄ ⁺) mg/L	-	-	-	-	-

TABLEAU N° 17 (SUITE)

(NKT) mg/l	2,60	0,90	0,4	0,60	0,35
(SO ₄ ⁻²) mg/l	2,48	13,75	8,12	-	11,32
Matière totale à 105° °C	-	-	-	-	-
Matière minérale à 550°C : mg/l	-	-	-	-	-
Matière organique totale	-	-	-	-	-
DBC ₅ mg/	9	-	-	-	10
(Fe) zn total	4,13	0,24	1,4	0,59	7,31
(Zn ²⁺) mg/l	0,16	0,03	0,07	0,04	0,01
(Mn ²⁺) mg/l	0,25	0,00	0,06	0,04	0,20
(Pb ²⁺) mg/l	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
(Cd ²⁺) mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(Cr) en total	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(Cu ²⁺) mg/l	0,32	0,01	0,02	0,00	0,00

TABLEAU N° 18 : Résultats des analyses des eaux souterraines prélevés
au niveau du forage N°5 (F5).

Niveau dynamique : 13,5 m

Date de prélèvement	24-3-90	10-4-90	14-4-90	08-5-90	26-5-90
couleur	légèrement trouble	légèrement trouble	transparente	transparente	transparente
odeur	inodore	inodore	inodore	inodore	inodore
pH	20,9	19	21,0	20	21,1
température	7	7	7	7	7
Ca ²⁺ mg/l	9,4	9,1	7,0	11	3,2
Mg mg d'O ₂ /l	182	204	512	120	87
acidité totale meq/l	0,55	0,4	0,54	0,56	0,56
TAC meq/l	20	3,9	20,5	7	21
(PO ₄ ²⁻) mg/l	0,11	0,6	3,66	3,2	3
(Cl ⁻) mg/l	477,5	298	333,7	355	350
(NO ₃ ⁻) mg/l	15,04	11,36	5,45	15,35	15,86
(NO ₂ ⁻) mg/l	-	-	-	12	11
(NH ₄ ⁺) mg/l	1,87	0,75	1,75	1,5	1,5
(NKT) mg/l	2,0	-	-	2,0	2,0
(SO ₄ ²⁻) mg/l	4	11	3,66	4	4,5
matière totale à 105°C g/l	1,5	0,56	0,92	7,7.10 ⁻³	0,5

TABLEAU 18 /: (SUITE)

MATIERE MINERALE A 550 °C G / L	0,8	$96,10^{-3}$	0,115	$2;10^{-3}$	0,44
MATIERE ORGANIQUE TOTALE G / L	0,7	0,55	0,805	$5,7.10^{-3}$	0,06
MATIERE DB 05 MG / L	-	-	-	-	10
CONDUCTIVITE MS/CM	-	-	-	-	1,7

DOSAGE DE CERTAINS METAUX LOURDS

DATE DE PRELEVEMENT : 08/05/1990.

Zn	0,02
Cu	0,03
Cr	0,00
Cd	0,01
Pb	0,0
Mn	0,20
Fe	14;20

TABLEAU N° 19 : Résultats des Analyses des Eaux Souterraines
Prélevées au niveau de la SONIC et SAIDAL.

Date de Prélèvement : 22 - 05 - 1990

Prélèvement	SAIDAL	S O N I C
Cordonnées	X 543,200	543,700
	X 377,600	378,500
Niveau (m) dynamique	26	5,7
T° C	23	22
pH	7	7,5
O ₂ mg / l	-	-
DCO mg d'O ₂ / l	46,0	18,0
Acidité totale	0,6	0,48
TAC m. eq / l	5,8	5,44
(PO ₄ ²⁻) mg / l	0,8	0,48
(Cl ⁻) mg / l	312,4	383,4
(NO ₃ ⁻) mg / l	15,21	141
(NO ₂ ⁻) mg / l	5,9	6,1
(NH ₄ ⁺) mg / l	-	-
(NKT) mg / l	0,45	0,55
(SO ₄ ²⁻) mg / l	3,28	6,1
Conductivité ms / cm	1,2	1,74

* Voir le Plan Photogrammétrique .

- TABLEAU N° 19 (SUITE).

Mn ²⁺) mg / l	0,00	0,05
(Cu ²⁺) mg / l	0,02	0,01
Cr Total mg / l	0,00	0,00
(Cd ²⁺) mg / l	0,00	0,00
(Pd ²⁺) mg / l	0,00	0,00
(Mn ²⁺) mg / l	0,03	0,00
Fer Total mg / l .	0,12	0,23

3.6. - Interprétation des résultats

3.6.1. - Le lixiviat :

Le problème majeur qu'on rencontre dans l'étude analytique d'un lixiviat réside dans la difficulté de pouvoir situer cette étude par rapport aux études et données bibliographiques.

En effet la nature du percolat dépend non seulement de la décharge considérée, des déchets admis et du mode d'exploitation mais aussi de l'âge de la décharge car par exemple la pollution organique des percolats est une conséquence de l'évolution biologique des déchets au sein de la décharge.

On retrouve par exemple dans la bibliographie (17) pour les principales caractéristiques analytiques des percolats d'ordures ménagères des fourchettes de variabilité de valeurs très larges, dont nous reportons dans les tableaux n° 20 et 21, les valeurs extrêmes.

Tableau n° 20 :

pH	3,7 - 8,6
DCO	40 - 39520 mg/l
COT	265 - 28000 mg/l
DBO ₅	81 - 33360 mg/l
alcalinité	
Ca CO ₃	0 - 20850 mg/l
p Total	0 - 130 mg/l
NKT	0 - 13000 mg/l
Fe	0 - 1300 mg/l
Zn	0 - 370 mg/l
Cu	0 - 10 mg/l

Tableau 21

pH	6,2 - 7,45
DCO	Ø,6 11600 mg / l
DBO ₅	2 - 8000 mg / l
COT	21 - 4400 mg / l
N.ammoniac	5 - 730 mg / l
N.organique	non décelable - 155 mg / l
N. Nitrrique	0,5 - 4,9 mg / l
N. nitreux	0,2 - 1,8 mg / l
P. Ortho	0,02 - 3,4 mg / l
Chlorure	70 - 2777 mg / l
Sulfates	55 - 456 mg / l
Na	43 - 2500 mg / l
Mg	12 - 480 mg / l
K	20 - 650 mg / l
Ca	165 - 1150 mg / l
Cr	0,05 - 0,14 mg / l
Mn	0,32 - 26,5 mg / l
Fe	0,09 - 380 mg / l
Ni	0,05 - 0,16 mg / l
Su	0,01 - 0,15 mg / l
Zn	0,005 - 0,01 mg / l
Cd	0,005 - 0,01 mg / l
Pb	0,05 - 0,22 mg / l

A cette variabilité dans l'espace il faut ajouter celle dans le temps qui résulte de la pluviométrie et de l'évolution des déchets dont la lixivibilité au cours du temps diminue après épuisement de la partie lixiviable du déchet.

Si nous regardons maintenant de plus près les résultats des paramètres obtenus sur le lixiviat de Oued - Smar, nous remarquons que certaines teneurs sont exceptionnellement élevées et très surprenantes pendant que d'autres sont plus ou moins caractéristiques d'un percolat de décharge d'ordures ménagères ou de décharge mixte dont le percolat en général pas tellement différent du premier :

- Cas des chlorures : la teneur en chlorure du percolat de Oued-Smar est très élevée et ne peut être expliquée seulement par son taux de présence naturel dans les ordures ménagères. En général les teneurs extrêmes citées en bibliographie sont 3 à 4 fois plus faibles. Ceci nous amène à supposer qu'il doit y avoir eu un rejet massif de sels chlorés neutres ou basiques par une branche d'industrie quelconque. Le rejet d'un acide est à exclure car le pH est trop basique pour un hypothétique rejet de HCl.

L'analyse du sodium que nous avons effectuée lors de la cinquième campagne montre qu'il s'agit certainement en une grande partie du sel NaCl car on n'est pas loin du stochiométrique des teneurs en Na^+ et Cl^- .

Toute étude ultérieure de traitabilité du lixiviat devrait tenir compte de cette présence massive de chlorure, du point de vue infiltration les chlorures migrent certes plus ou moins rapidement. Il faut signaler que suivant les pH, les chlorures peuvent donner naissance à des composés métalliques très mobiles tels que : Cu Cl^+ , Zn Cl^+ , Pb Cl^+ , Fe Cl_2 , etc.... qui assurent la diffusion des métaux lourds vers le milieu naturel (17).

Pollution azotée et cas des nitrates : L'azote sous sa forme réduite à des teneurs compatibles avec les dérivés d'ordures ménagères et d'ordures assimilables. Environ la moitié de cet azote est sous forme ammoniacale et donc à ce pH basique sous forme de NH_3 (dégradation biologique de l'urée, des protéines et d'autres composés organiques azotés). Cependant l'azote sous sa forme oxydée, nitrates et même nitrites présente des teneurs anormalement élevées d'autant plus que la nitrification in situ dans les percolats de décharge jeune ou ancienne est très faible. La aussi nous pensons qu'il s'agit d'un phénomène spécifique à cette décharge et que son origine est à chercher dans la mise en décharge de grande quantités de sels nitrates, il est d'ailleurs possible qu'il s'agisse d'engrais périmés que des coopératives agricoles ont mis en décharge. L'infiltration de ces nitrates rejoint donc le problème crucial qui se pose actuellement en Europe ou le lessivage de fertilisants utilisés en agriculture a conduit à l'arrêt de l'exploitation de certains forages.

Nous verrons aussi dans les paragraphes suivants un taux de nitrates très élevé dans un forage des eaux souterraines (Forage SONIC à 5,7 m de profondeur) qui pourrait être en étroite relation avec la teneur en nitrate des lixiviats.

- Pollution organique : Les lixiviats présentent une forte teneur en matières organiques. Des études en cours devraient déterminer des acides carboxyliques à courte chaîne qui constituent une importante fraction de la pollution carbonée totale. Le dégagement de gaz méthane qu'on observe à l'œil nu montre toutefois que nous sommes globalement en phase de méthanisation et que le taux d'acide gras volatils devrait être plus réduit que celui correspondant aux lixiviats en phase.

d'acidification.

Enfin nous remarquons que l'environnement immédiat du puits de prélèvement n'influe pas tellement sur la charge organique.

- Les métaux lourds : Les teneurs en métaux lourds sont typiques pour les lixiviats issus de déchets à caractère domestique prédominant ou prévalent dans l'ordre des teneurs croissantes : le manganèse , le chrome , le zinc et le fer.

On décele aussi un grand nombre de métaux lourds particulièrement toxiques pour le milieu naturel. Toutefois ces métaux présents à l'état de traces avec des teneurs inférieures au p.p.m; ne présentent pas , du moins à l'état actuel , un grand risque de contamination des eaux souterraines.

3.6.2. - Les eaux souterraines :

L'impact de la pollution engendrée par la décharge de Cued-Smar par le biais de ses lixiviats , sur la nappe aquifère se mesure par le degré de contamination , des eaux souterraines de la zone étudiée. Bien qu'il nous a été impossible de procéder à des forages sur le site lui même, nous avons pu accéder à une approche du problème en utilisant les possibilités offertes par les forages existants déjà à proximité du site. Comme déjà signalé auparavant nous avons pu à l'aide de l'exploitation des données géologiques hydrogéologiques localiser ces forages par rapport au sens de l'écoulement des eaux souterraines.

Ainsi les forages peuvent donc dans une première approche être considérés comme étant représentatifs pour une étude préliminaire sur la contamination du sous - sol.

L'analyse des résultats obtenus sur les forages 1 et 5 qui sont les plus proches de la décharge montre un taux de chlorure et une DCO relativement élevés. Les autres paramètres satisfaisaient pratiquement à toutes les normes internationales.

Les métaux lourds et même ceux présents à concentrations élevées dans les lixiviats sont fortement atténués. Leurs teneurs dans les eaux de forages correspondent en général à la composition naturelle d'une eau potable. On ne retrouve aucun indice significatif quant à une éventuelle contamination des eaux souterraines. Les faibles teneurs en Fe et en Mn pourraient même provenir du système de pompage installé dans la puisard. Nous retrouvons ainsi une bonne corrélation entre la caractérisation géologique du sous-sol qui est de nature impénétrable sur une grande épaisseur non saturée et l'infiltration quasi-nulle des polluants.

L'étude des eaux souterraines montre en outre que les résultats d'analyses obtenus sur les deux forages SAIDAL et SONIC situés dans la zone industrielle de Cued-Smar à l'est, en amont de la décharge sont pratiquement similaires à ceux des forages situés à l'ouest de la décharge. La seule différence réside dans la teneur en nitrates du forage de la SONIC, qui comparée à celle des autres forages est environ 10 fois plus élevée.

Ce forage qui se distingue d'une part par un niveau dynamique très faible de l'ordre de 6 m et qui d'autre part fait aussi l'objet d'une contamination bactériologique est difficilement comparable aux autres forages.

L'origine de sa contamination par les nitrates est-elle en rapport avec l'écoulement des lixiviats de décharge ou est-ce le résultat d'évacuation des rejets de l'industrie de la cellulose elle-même ? L'état actuel de l'étude ne permet pas d'apporter une réponse à cette question.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude approfondie des phénomènes de percolation est un sujet complexe, exigeant la contribution simultanée de nombreuses disciplines. Chimie, géologie, hydrogéologie, biologie, physique, etc...

La modélisation du mouvement du lixiviat dans le sol et de l'atténuation de son caractère polluant à besoin de données recueillies sur une longue période, elle est donc gênée par le manque de continuité des études dans le temps sur une même décharge et les données ponctuelles ne permettent pas l'observation de l'évolution.

Les questions se posent sur :

- la durée des phénomènes
- la provenance des substances critiques
- leur évolution.

Pour notre part, dans notre étude, nous avons présentée dans une première partie un aperçu théorique détaillé sur les interactions des déchets avec le milieu et leur évolution.

Dans la deuxième partie nous avons procédé à une étude et évaluation géologique et hydrogéologique de la zone où se situe la décharge. Dans ce contexte nous rappelons que nous avons exploité les diverses données relatives à la large zone où est implantée la décharge. Il est clair qu'une étude plus fine aurait dû restreindre le cercle pour déterminer la géologie et l'hydrogéologie exacte du site.

Si, cependant, cela n'a pas été fait ce n'est pas par méconnaissance de la problématique mais beaucoup plus par manque de moyen. Néanmoins, pour un premier temps on peut dire que les eaux souterraines de la région de Oued Smâr qui sont à une profondeur d'environ 20 m sont naturellement protégées par la zone non saturée

qui est a prédominance argileuse.

D'autre par l'étude des lixiviats, l'analyse des eaux souterraines de certains forages et la corrélation avec la structure et la dynamique du sous-sol nous avons pu montrer que la contamination de la nappe par les déchets de Oued-Smar est minime. Toutefois, ceci n'exclue pas qu'une certaine progression de la contamination peut avoir lieu dans les années à venir.

Enfin, nous pouvons dire que la décharge de Oued-Smar étant non contrôlée présente une grande menace pour les eaux souterraines. Cependant, le fait qu'elle soit un dépôt mixte de déchets ménagers et industriels offre des avantages au regard de la protection de l'eau car les réactions chimiques et physico-chimiques peuvent complètement empêcher ou partiellement réduire le danger potentiel de dépôts de déchets.

Par ailleurs la mise en décharge mixte implique des précautions particulières :

- Une étude préalable de la capacité " d'atténuation" du site qui dépend de l'hydrogéologie, de l'épaisseur de la décharge, des précipitations et également du type de matériaux inertes reçus.
- Une bonne prévision sur les quantités admissibles afin de ne pas dépasser les capacités "d'atténuation" du site et un contrôle in-situ des lixivats.
- Une bonne gestion de la décharge avec un plan détaillé des dépôts afin d'éviter les mélanges incompatibles (par exemple : acides et métaux lourds, solvants et goudrons).
- Enfin, un schéma prévisionnel d'utilisation du site après remplissage, la biodégradation de certains déchets (Exp. : pesticides) étant très longue.

A N N E X E

ANNEXE I. METHODE DE DOSAGE

1. - Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO).

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans les conditions opératoires définies.

1. - Principe :

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium.

2. - Réactif :

- Eau distillée fraîchement préparée
- Sulfate de mercure cristallisé
- Solution de sulfate d'argent

Sulfate d'argent cristallisé 6,68g

Acide sulfurique (d = 1,89 q.s.p. 1000 ml

- Solution de sulfate de fer et d'ammonium... 0,25 N
- sulfate de fer et d'ammonium 98 g
- acide sulfurique (d = 1,89 2000 ml
- eau distillée q.s.p. 1000 ml

Le titre de la solution doit être vérifié tous les jours.

- Solution de dichromate de potassium. 0,25 N
- dichromate de potassium (séch. 2 heures à 105°C) ... 12,2500 g
- solution de ferroïne q.s.p.

3. - Vérification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium dans un bécher ; mettre 25 ml de solution de dichromate de potassium 0,25 N et compléter à 250 ml par de l'eau distillée. Ajouter 85 ml d'acide sulfurique (d = 1,84) laisser refroidir, ajouter quelques gouttes de solution de fève et déterminer la quantité nécessaire de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le visage au rouge violacé.

$$T = \frac{\text{ml } K_2 Cr_2 O_7 \times 0,25}{\text{ml de } Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2}$$

4. - Mode opératoire

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un ballon de 500 ml ou éventuellement, une même quantité de dilution. Ajouter 1 g de sulfate de mercure cristallisé et 5 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent. Chauffer, si nécessaire, jusqu'à parfaite dissolution. Ajouter 25 ml de solution de dichromate de potassium 0,25 N puis 70 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent. Porter à ébullition pendant 2 heures sous réfrigérant à reflux adopté à ébullition

Laisser refroidir. Diluer à 350 ml avec de l'eau distillée. Ajouter quelques gouttes de solution de fève. Déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le visage au rouge violacé. Procéder aux mêmes opérations sur 50 ml d'eau distillée.

5. - Expression des résultats :

La demande chimique en oxygène DCO exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est égale à :

$$\frac{8000 (V_0 - V_1) T}{V}$$

- V₁ : Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml)
V₀ : Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml)
T : Titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium
V : Volume de la prise d'essai.

II. - Dosage de l'azote ammoniacal

1. - Principe :

Remarque à l'intention de la

Addition à l'échantillon de tartrate double de sodium et de potassium qui a principalement pour rôle d'éviter la formation ultérieure d'une couche due à l'interférence du calcium et du magnésium éventuellement présents :

Réaction, en présence d'hydroxyde de potassium ou de sodium, entre le réactif de NESSLER et les ions NH_4 avec la formation d'un composé de coloration variant du rouge orange au brun.

Mesure spectrophotométrique à une longueur d'onde voisine de 420m de la coloration obtenue.

2. - Réactifs :

2.1. - Réactif de NESSLER :

Traiter une solution de 50 g d'iodure de potassium dans 35 ml d'eau par une solution saturée de chlorure de mercure II jusqu'à ce qu'un léger précipité subsiste. Ajouter ensuite 400 ml de solution d'hydroxyde de sodium. Diluer la solution à 1000 ml en fiole jaugée. Laisser reposer et décantier.

2.2. - Tartrate double de potassium et de sodium :

Dissoudre 500g de tartrate double de potassium et de sodium ($\text{C}_4\text{H}_4\text{OK Na } 4\text{H}_2\text{O}$) dans 1000 ml d'eau chaude. Après refroidissement, ajouter 50 ml de réactif de NESSLER (2.1) laisser reposer deux jours et filtrer.

2.3. - Azote ammoniacal :

Solution étalon à 10 mg de NH_4^+ au litre. Dissoudre 297 mg de chlorure d'ammonium dans de l'eau et amener à 1000 ml en fiole jaugée. Diluer au dixième la solution obtenue.

3. - Appareillage :

Matériel courant de laboratoire.

Spectrophotomètre (Longueur d'onde : 420 nm)

4. - Echantillon :

L'échantillon doit être refroidi à une température de 5°C . L'analyse doit être effectuée aussitôt que possible après leur prélèvement

5. - Mode opératoire :

5.1. - Prise d'essai :

Prélever 50 ml de l'échantillon si sa teneur en NH_4^+ est inférieure à 5 ng.l. Si ce n'est pas le cas, prélever un volume plus petit et ajuster à 50 ml avec de l'eau.

5.2. - Courbe d'étalonnage :

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, introduire :

0 - 1 - 2 - 5 - 10 - 15 - 20 - 25 ml de solution étalon d'azote ammoniacale correspondant à :

0 - 10 - 20 - 50 - 100 - 150 - 200 - 250 μg de NH_4^+ soit pour une prise d'essai de 50 ml à :

0 - 0,2 - 0,4 - 1,0 - 2,0 - 3,0 - 4,0 - 5 mg de NH_4^+ par litre

Compléter au volume avec de l'eau et ajouter 2,0 ml de la solution de tartrate (2 - 2). Mélanger. Ajouter 2,0 ml du réactif de NESSLER (2 - 1) et mélanger à nouveau.

Attendre 10 mn et effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 420 nm.

5.3. - Dosage :

Traiter la prise d'essai de la même façon que pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Veillez à respecter le même temps d'attente entre l'addition du réactif de NESSLER et la mesure spectrophotométrique. Veillez à opérer à la même température.

6. - Expression des résultats :

Déduire de la courbe d'étalonnage la teneur en azote ammoniacal de l'échantillon et l'exprimer en milligrammes de NH_4^+ par litre.

III. - Dosage des nitrates :

Méthode spectrophotométrique au réactif sulfophénique

1. - Principe

En milieu sulfurique anhydre, les nitrates réagissent avec l'acide phénol sulfonique pour donner un composé nitré qui développe une coloration jaune en milieu ammoniacal.

2. - Réactif :

2.1. - Réactif sulfophénique :

79 ml de l'acide sulfurique concentré, ajouter 12 g de phénol. Laisser dissoudre dans le bain marie pendant deux heures.

3. - Appareillage :

Matériel courant de laboratoire

Spectrophotomètre (longueur d'onde 440 m).

4. - Mode Opérateur :

Prélever 5 ml de l'eau à analyse et évaporer à sec au bain -marie (ou sur plaque chauffante) dans un bécher de 50 ml.

Laisser refroidir, ajouter 1 ml de réactif sulfophénique. Bien homogénéiser, attendre 15 mn environ et ajouter 5 ml d'eau distillée puis 10 ml d'ammoniaque.

Transvaser dans une fiole jaugée de 50 ml, compléter homogénéiser et faire la lecture au spectrophotomètre à 440 nm. Le spectrophotomètre aura été étalonné au préalable avec une solution de 100 mg/l de nitrate dans les mêmes conditions.

5. - Expression des résultats :

Déduire de la courbe étalonnage la teneur en nitrates de l'échantillon et l'exprimer en milligrammes de NO_3^- par litre.

IV. - Dosage des nitrites :

(Méthode spectrophotométrique au réactif de diazotation) :

1. - Principe :

Diazotation de la sulfanilamide par les nitrites en présence de dichlorure de N- (1-naphtyl) éthylène diamine.

Mercure spectrophotométrique a une longueur d'onde voisine de 557 nm de la coloration du complexe rose formé.

2. - Réactif :

2.1. - Réactif de diazotation :

A 600 ml d'eau ajouter 100 ml d'acide orthophosphérique concentré, puis 40 g de sulfanilamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2\text{N}_2\text{S}$). Laisser dissoudre , puis ajouter 2 g de dichlorure de N-(1-naphtyl) éthylène-diamine ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NHCH}_2$, 2HCL).

2.2. - Solution étalon de nitrite à 1 mg de NO_2^- par litre

Peser , à 0,1 mg près , 150mg de nitrite de sodium, les dissoudre dans de l'eau et ajouter à 1000 ml en fiole jaugée. La solution mère ainsi obtenue est une solution à 100 μg de NO_2^- par litre.

Au moment de l'emploi, diluer au centième cette solution mère.

3. - Appareillage

Matériel courant de laboratoire.

Spectrophotométrie (longueur d'onde 537 nm).

4. - Echantillon

Les échantillons doivent être refroidis à une température voisine de 5°C. L'analyse doit être effectuée aussitôt que possible après le prélèvement.

5. - Mode opératoire

5.1. - Prise d'essai

Si l'échantillon contient moins de 1 mg de NO_2^- par litre introduire 50 ml de l'échantillon.

Si l'échantillon contient plus de 1 mg de NO_2^- par litre diminuer la prise d'essai et compléter à 50 ml avec de l'eau distillée.

5.2. - Courbe d'étalonnage

Introduire dans des fioles jaugées de 50 ml, respectivement 0 - 1 - 2 - 5 - 10 - 30 - 40 - 50 ml de solution étalon (2 - 2) correspondant à : 0 - 1 - 2 - 5 - 10 - 30 - 40 - 50 μg de NO_2^- soit pour une prise d'essai de 50 ml à :

0 - 0,02 - 0,04 - 0,1 - 0,2 - 0,6 - 0,8 - 1 mg de NO_2^- par litre.

Compléter au volume avec de l'eau et homogénéiser. Dans chaque fiole ajouter 1,0 ml de réactif de diazotation (2 - 1) et homogénéiser, attendre 10 mn environ et effectuer les mesures au spectrophotomètre après avoir réglé l'appareil au zéro d'absorbance par rapport à l'eau.

5.3. - Dosage

Ajouter à la prise d'essai (5 - 1) 1,0 ml de réactif de diazotation (2 - 1) et homogénéiser. Attendre 10 mn environ et effectuer la mesure au spectrophotomètre dans les mêmes conditions que pour l'établissement de la courbe d'étalonnage.

- Expression des résultats

Déduire de la courbe d'étalonnage la teneur en nitrites de l'échantillon et l'exprimer en milligrammes de NO_2^- par litre .

V. - Dosage des chlorures :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'application d'une teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

- Réactifs :
- Acide nitrique pur
 - Carbonate de calcium cristallisé
 - solution de chromate de potassium (10%)
 - solution de nitrate d'argent (0,1N)

- Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250 ml. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur et pincé de

carbonate de calcium. Le pH de l'eau ainsi obtenue doit être aux environs de 5. Ajouter 3 gouttes de chlorure de potassium. Titrer à l'aide d'une solution de nitrate d'argent N/10 jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui persistera quelques minutes. Soit V le volume nécessaire pour le titrage.

La teneur en chlorures exprimés en mg de Cl^- / l est donnée par la relation suivante : $\text{Cl} = V \cdot 10 \cdot 3,55$

- Remarque : Avant de procéder au titrage, il faut détruire les matières organiques par addition de quelques gouttes de solution de permanganate de potassium N/10 jusqu'à coloration persistante. Puis décolorer par une goutte de solution d'eau oxygénée à 3%.

VI. - DETERMINATION DES SULFATES PAR NÉPHÉLOMÉTRIE

- Principe : Le dosage des sulfates est basé sur la réaction, en milieu acide, entre l'ion sulfate et le chlorure de baryum, qui conduit à la formation de sulfate de baryum, sel très peu soluble. Ce dernier est maintenu en suspension grâce à une solution stabilisante. La teneur des sulfates est alors reliée à la turbidité de la solution.

- Réactifs : - solution stabilisante (dissoudre 75 g d'NaCl dans une solution de 30 ml d'HCl concentré dilués dans 300 ml d'eau distillée. Ajouter 100 ml d'alcool éthylique à 95 % puis 50 ml de glycérine).

- Chlorure de baryum pur.

- Solution étalon de sulfate (dissoudre 1,479 g de Na_2SO_4 dans 1 litre d'eau distillée).

- Etablissement de la courbe d'étalonnage : Par dilution de la solution mère préparer 5 étalons contenant de 0 à 40 mg/l de sulfates dans des flacons jaugés de 500 ml. A 100 ml de chaque étalon, placés dans un erlenmeyer de 250 ml, ajouter 100 ml de solution stabilisante et 0,4 g de chlorure de baryum.

VII. - Dosage des orthophosphates par colorimétrie

- Principe : En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium; les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique.

Certaines formes organiques peuvent être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner les orthophosphates; le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, l'émétique, tartrate double d'antimoine, et de potassium.

La sensibilité de la méthode est augmentée en extrayant la coloration bleue par un solvant.

La méthode est adaptée aux teneurs en phosphore supérieures à 10 micro-grammes/l.

- Réactifs : - Solution d'acide sulfurique 5N
- Solution de molybdate d'ammonium à 4 %
 - Solution d'acide ascorbique 17,6 g/l, à préparer chaque jour.
 - Solution d'émétique : 0,274 g de tartrate double de potassium et d'ammonium dans un litre d'eau.

- Réactifs :

- Acide sulfurique 5N 400 ml
- Solution de molybdate d'ammonium ... 120 ml
- Acide ascorbique..... 240 ml
- Solution d'émétique..... 40 ml
- Solution mère étalon à 0,2 g/l de phosphore :
 - . Phosphate monopotassique 0,877 g
 - . Eau distillée 1 litre.
- Solution fille étalon à 2 mg/l de phosphore.

- Etablissement de la courbe d'étalonnage : Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml.

Numéro de fiole	Témoin	I	II	III
Solution étalon de phosphore à 2 mg / l (ml)	0	1	2	5
Eau distillée (ml)	25	25	25	25
Eau bidistillée (ml)	20	18	18	15
Correspondance en mg/l de phosphore	0	0,1	0,2	0,5
Réactif (ml)	4	4	4	4

Attendre 20 minutes puis effectuer la lecture au spectrophotométrie à la longueur d'onde de 696 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

- Mode opératoire : Introduire 20 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 25 ml. Ajouter 4 ml de réactif, compléter le volume à 25 ml avec de l'eau distillée. Attendre 20 mn puis effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 690 nm. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

- Etablissement de la courbe d'étalonnage : Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml.

Numéro de fiole	Témoin			
	I	II	III	
Solution étalon de phosphore à 2 mg / l (ml)	0	1	2	5
Eau distillée (ml)	25	25	25	25
Eau bidistillée (ml)	20	19	18	15
Correspondance en mg/l de phosphore	0	0,1	0,2	0,5
Réactif (ml)	4	4	4	4

Attendre 20 minutes puis effectuer la lecture au spectrophotométrie à la longueur d'onde de 696 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

- Mode opératoire : Introduire 20 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 25 ml. Ajouter 4 ml de réactif, compléter le volume à 25 ml avec de l'eau distillée. Attendre 20 mn puis effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 690 nm. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

- Après ion des résultats : Pour une prise d'essai de 20 ml, la courbe donne la teneur en phosphore exprimée en mg/l.

- Remarque : La coloration est pendant 24 heures (25).

VIII. - Détermination des matières totales

Ces sont des matières déterminées par évaporation de l'eau brute tamisée. Elles peuvent aussi être calculées en faisant la somme des matières en suspension et des matières en solution.

Évaporer au bain marie 100 ml d'eau brute tamisée. Porter le résidu à l'étuve à 105°C pendant 2 heures. Laisser refroidir au dessiccateur. Peser soit Y le poids de l'extrait sec à 105°C. Calciner ensuite dans un four à 525 ± 25°C pendant 2 heures. Laisser refroidir au dessiccateur. Soit Y' le poids du résidu calciné/

Y = Poids des matières totales dans la prise d'essai.

Y' = poids de la fraction minérale des matières totales dans la prise d'essai

Y - Y' = poids de la fraction organique des matières totales dans la prise d'essai (25).

IX. - Analyse des métaux lourds par absorption atomique

- Méthode de Minéralisation .

a. - Fixation des métaux pour l'eau

- Principe : Les métaux sont fixés en milieu chlorhydrique

- Matériels : - HCl pur

- Be cher de 200 ml

- Plaque chauffante

-

- Mode opératoire : Prendre 100 ml d'eau à analyser avec 5 ml de HCl et porter à ébullition pendant 15 mn, après refroidissement, ajuster le volume à 100 ml avec de l'eau distillée.

NORMES D'EAU POTABLES

	Unité	C.M.S.		O.M.S.	C.B.E.	
		C.M.S.	C.M.A.	Europ.	C.M.S.	C.M.A.
Matières solides totales	mg / l	500	1500	-	-	1500
Couleur	Pt. CO	5	50	-	9	20
Turbidité	JTV	0,1	0,5	-	0,1	0,3
pH		7-8,5	6,5-9,2	-	6,5-8,5	9,5
Fe	mg / l	0,1	1	0,1	-	0,3
Mn	"	0,05	0,5	0,05	-	0,05
Zn	"	1,5	5	5	0,5	1,0
Ca	"	75	200	-	10	-
"	"	50	150	0,03	30	50
SO ₄ ⁻	"	200	400	0,25	5	250
CL ⁻	"	200	600	0,5-0,8	5	200
NO ₃ ⁻	"	45	-	-	-	5
Oxygène dissous	"	-	-	-	-	5
Cu	"	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Dureté	mg CaCO ₃ / l	100	500	-	-	-
K	mg / l	-	-	-	10	20
Na	"	50	150	150	20	100
N. organiques	"	-	-	-	1	5
Pb	"	0,10	0,10	-	-	-
Cd	"	0,01	-	-	-	-

Valeurs limitées fixées en RDA

Pour les éléments présents dans l'émissaire.

Substance	Teneur limitée maximale mg / l		
	Classe de qualité		
	1	2	3
pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0
Cr (VI)	0,05	0,1	0,1
Cr (3+)	0,05	0,05	0,05
Fe	0,05	0,1	1,5
Cu	0,01	0,1	0,3
Zn	0,01	0,1	3,0
Cd	0,005	0,03	0,2
Pb	0,1	0,1	0,1
SO ₄ ²⁻	150	250	300
Cl	200	300	400
Sulfates ou autres réduct.	0	0,01	0,05

Centre d'Etude et de Réalisation en Urbanisme
Concentration limite des rejets des eaux résiduaires
industrielles - Milieu récepteur : eau de surface.

Facteurs	Valeurs limitées
pH	6,5 - 8,5
T°C	30°C
M.E.S.	20 mg/l
D.B.D.5	30 mg / l (max) 20 - 24 h.
D.C.D.	90 mg / l (max) 60 - 24 h
Phosphate $\frac{3-}{4}$	2 mg / l
Chlore libre	0,05 mg / l
Fluor	5 mg / l
Cyanures CN	0,01 mg / l
Hydrogène sulfure	0,1 mg / l
Nitrate NO ₂	1 mg / l
Pesticides	-
Al	2 mg / l
Ag	0,1 mg / l
Ba	5 mg / l
Br	1 mg / l
Cd	0,01 mg / l
Co	1 mg / l
Cr	2 mg / l
Cu	0,1 mg / l
Fe	1 mg / l
Mn	1 mg / l
Ni	2 mg / l
Pb	0,1 mg / l
Zn	2 mg / l

Directives Suisse concernant la qualité
des eaux résiduaires à rejeter.

Substance Polluante	Valeur limite pour le rejet	
	En Emissaire	En réseau d'égout
pH	6,5 - 8,5	6,5 - 9,0
Pb	1,0 mg / l	1,0 mg / l
Cd	1,0 mg / l	1,0 mg / l
Cr (VI)	0,1 mg / l	0,1 mg / l
Cr (III)	2,0 mg / l	2,0 mg / l
Fer	1,0 mg / l	Valeur (+) élevée
Cu	1,0 mg / l	100 mg / l
Zn	2,0 mg / l	2,0 mg / l
Hydrocarbures (essence, huile minérales, gas oil)	10 mg / l d'extrait total	20 mg / l d'extrait total.
	350	600

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. - M. EL-OUAHED, B. BELHIMER : Contribution à l'étude de la pollution engendrée par la décharge de Oued-Smar.
Thèse de fin d'étude. E.N.P. (Juin 1989).
2. - M.C. MAKHOUKH, B. RAKATONIRINA : Les résidus urbains du grand Alger. Réaménagement de la décharge de Oued-Smar.
Thèse de fin d'étude E.N.P. (Juin 1983).
3. - GASTON RICHARD : La lutte contre la pollution industrielle de l'Eau, industrie et nuisance NB108. P. 41. (Mars 1987).
4. - ROBERT GILLET : Les déchets urbains. Livre I.
Edition provisoire incomplète O.M.S. (1983).
5. - NAKIB : Cours de déchets solides.
E.N.P. (1989 - 1990).
6. - ANDRE : La décharge contrôlée de résidus urbains.
Cahiers techniques de la direction de l'eau et de la prévention des pollutions et des risques.
N°6 (1981).
7. - CHAMBOURNIER : La mise en décharge contrôlée des déchets urbains (1981).
8. - MATHESSE G. : Pollution des eaux souterraines par une décharge in T.S.M. de l'eau P. 67 - 75. (Décembre 1976).
9. - G. GASTANY, J. MARGAT : Dictionnaire Français d'hydrogéologie.
p. 105 B.R.G.M. (1977).

10. - HERMÉ ANRED : La mise en décharge de déchets industriels spéciaux en site étanche. ANREO P. 129 - 130.
11. - ANRED : Guide pour l'élimination et la valorisation des déchets industriels.
Cahiers techniques de la direction de l'eau et de la prévention des pollutions et des risques.
N°8. 3ème édition (1989).
12. - ANRED : Les lixiviats de décharge : Une certaine maîtrise de leur production . (Juillet 1986).
13. - ANRED et INSA : Analyse et caractérisation des déchets industriels. Cahiers techniques de la direction de la prévention des polluants N° 12. (1984).
14. - THOMAS O. : Impact d'une décharge contrôlée sur la qualité des eaux souterraines ; pollution par les métaux lourds : tribune de Cebedeau N° 5/2.
P. 19 - 25 (1986).
15. - B.R.G.M. : Etude bibliographique de la pollution des eaux souterraines par les dépôts d'ordures ménagères en milieu alluvial (Septembre 1972).
16. - Evolution des flux de lixiviats sur sites de décharge.
Commission des communautés Européennes (Décembre 1986).
17. - Etude bibliographique sur les lixiviats produits par la mise en décharge de déchets industriels Volume 3/4. Commission des communautés Européennes. (1986).
18. - GRIFFIN, SHIMP Atténuation of pollutants in municipal land fill leachate by passage through clay :
Env. - Sci - Technol (Octobre 1976).

19. - GILL FRIANT : Les décharges contrôlées de résidus urbains, risques de pollution des eaux. (Mai - Juin 1982).
20. - ROBINSON H.D., MARIS P.J. : Leachate from domestic waste, génération , composition and treatment. A review. W.R.C. technical Report TR 102. (Mars, 1979).
21. - D.J.V. CAMPBELL, A. PARKER , J.F. REES : Atténuation of potentiel pollutants in land fill leachate by lower green sand (Septembre 1982).
22. - HATAYAMA H.K. : A method for determining the compactability of hazardous wastes (1980) P. 149.
23. - COLIN I.R.H. : Etude expérimentale en casier de la mise en décharge conjointe de boues à haute teneur en liquide et d'ordures ménagères (Décembre 1982).
24. - DELANNOY M., OLIMIER J. : Etude des processus anaérobies en filtration bactérienne et digestion par contact I.S.A. de Lille (1981).
25. - FRIANT G. : Les décharges contrôlées de résidus urbains risque vis à vis de la pollution des eaux. solid wastes ménagement P. 18 - 19 (Décembre 1981).
26. - COLIN I.R.H. : Evolution de la fiabilité des procédés de fixation des boues utilisées en France (1985).
27. - REVADE 90 : Colloque International sur la récupération et la valorisation des déchets. TOME II. (1990).

28. - ABDESSEMED D., Y. BOUDISSA : Caractéristiques , Collecte et perspectives de traitement des déchets ménagers de la ville d'Alger. Projet de fin d'étude. E.N.P. (Juin 1989).
29. - BEKEL A. : Etude de l'impact de la zone industrielle de Oued-Smar sur l'environnement. Centre Inter entreprise de formation industrielle. Meftah (1988).
30. - COSTANY G. : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod (1982).
31. - D.E.M.R.H. : Etude hydrogéologique quantitative de la plaine de la Mitidja. Rapport N° IV Bis (1971).
32. - MESSAOUDI A., HANNACHI A. : Etude hydrochimique de la nappe alluviale de la Mitidja. Projet de fin d'étude : U.S.T.H.B. (Octobre 1987).
33. - Carte hydrogéologique de la région d'Alger publiée en 1973 par la direction des études de milieu et de la recherche hydraulique.
34. - Carte géologique de la région de la Mitidja. D'après Bennie and Partners (ANRH).
35. - BELKACEMI M. : Thèse de Magister en cours. E.N.P. 1980.
36. - J. RODIER : L'analyse de l'eau : "eaux résiduaires, eaux naturelles, eaux de mer ". 6ème édition DUNOD Technique.

