

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المعهد الوطني لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Institut National des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en sciences de la mer

Option : aménagement du littoral

Thème :



Réalisé par :

**REZGUI Walid
CHERIET Walid**

Soutenu le 16 Octobre 2008 devant le jury :

Mr. Boulahdid M

Mr. Belkassa R

Mme. Houma-Bachari F

Mme. Azzam-Mami S

Mme. Hocini N

Mr. Mami M

Professeur (ISMAL)

Maître de conférences (ISMAL)

Maître de conférences (ISMAL)

Attachée de recherche (CRNA)

Chargée de recherche (CRNA)

Attaché de recherche (CRNA)

Président

Examinateur

Examinatrice

Examinatrice

Promotrice

Co-promoteur

Promotion 2007/2008

REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude, nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à tous ceux qui par leur aide, leurs conseils, leur compétence ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Que soient particulièrement remerciés les membres de jury :

Monsieur **M. Boulahdid**, Professeur à l'ISMAL, qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Monsieur **R. Belkassa**, Maître de Conférence à l'ISMAL, à qui nous rendons un hommage tout particulier en tant que examinateur.

Madame **F. Houma-Bachari**, Maitre de Conférence à l'ISMAL, a accepté très aimablement de participer à ce jury et d'examiner ce travail.

Madame **S. Azzam-Mami**, Attachée de Recherche au laboratoire de sédimentologie du CRNA, d'accepter l'examen de ce travail. Nous tenons à lui exprimer toute notre gratitude.

Nous exprimons aussi notre profonde reconnaissance au personnel du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA), particulièrement notre promotrice Mme **N. Hocini** et notre co-promoteur Mr **M. Mami**, respectivement Chargée de Recherche et Attaché de recherche au laboratoire de sédimentologie, pour leur patience exemplaire, leur soutien, leur aide ainsi que leurs conseils judicieux qu'ils nous ont apporté tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Messieurs **A. Noureddine** et **M. Maache**, du laboratoire d'impact radiologique du CRNA, qui nous a permis de réaliser les analyses en spectrométrie gamma des sédiments. Nous les remercions vivement pour leur coopération.

Il nous est agréable de remercier **l'ensemble du personnel** de l'ISMAL ainsi celui du CRNA.

Enfin nous ne saurions terminer nos remerciements sans exprimer un hommage tout particulier à nos **parents**, ainsi que nos **familles** et **amis** qui nous ont supporté, aidé et encouragé, en se montrant toujours patients envers nos caractères difficiles.

Merci à tous

SOMMAIRE

INTRODUCTION-----	1
-------------------	---

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Notions de Radioactivité-----	3
1.1. Désintégration radioactive-----	3
1.2. Différents processus d'émission radioactive-----	3
1.2.1. Radioactivité alpha-----	3
1.2.2. Radioactivité bêta-----	3
1.2.3. Radioactivité gamma-----	4
1.2.4. Loi de désintégration-----	4
2. Origines de la radioactivité dans l'environnement-----	5
2.1. Radioactivité naturelle-----	5
2.2. Radioactivité artificielle-----	5
2.2.1. Tests d'armes nucléaires-----	6
2.2.2. Installations nucléaires-----	6
2.2.3. Accidents nucléaires-----	6
3. Voies de transfert de la radioactivité dans l'environnement-----	7
3.1. Voies de transfert atmosphérique-----	7
3.2. Voies de transfert aquatique-----	9
4. Origine et comportement du Cs-137 dans l'environnement-----	10
5. Mesure de la radioactivité par spectrométrie gamma-----	11
5.1. Principes-----	11
5.2. Appareillage-----	11
5.3. Résolution en énergie-----	12
5.4. Bruit de fond-----	13
5.5. Efficacité de détection-----	13
5.6. Calcul d'activité-----	14
5.7. Limite de détection-----	14

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

1. Situation géographique-----	15
2. Historique-----	15
3. Caractéristiques du port-----	17
3.1. Les différentes fonctions du port-----	17
3.2. Plan d'eau-----	17
3.3. Capacité d'entreposage-----	17
3.4. Terminal à conteneurs-----	17
3.5. Installations spécialisées-----	17
3.6. Les infrastructures-----	19
3.6.1. Accès-----	19
3.6.2. Bassins-----	19
3.6.3. Jetées et brise-lames-----	19
3.7. Les rejets des eaux usées-----	19
4. Paramètres météo-océanologiques-----	22
4.1. Les données météorologiques-----	22
4.1.1. Le vent-----	22

4.1.2. Température-----	23
4.1.3. Pluviométrie-----	23
4.2. Les données hydrodynamiques-----	24
4.2.1. La houle-----	24
4.2.2. Les courants-----	27
4.2.2.1. la dérive littorale-----	27
4.2.2.2. le courant de retour-----	27
4.2.2.3. La circulation des eaux dans le port-----	28
5. Caractères bathymétrique et sédimentologique-----	30
5.1. Bathymétrie-----	30
5.1.1. Bassin du vieux port-----	30
5.1.2. Bassin de l'Agha-----	30
5.1.3. Bassin Mustapha-----	30
5.2. Sédimentologie-----	32
5.2.1. répartition des lutites-----	32
5.2.1.1. bassin Mustapha-----	32
5.2.1.2. bassin Agha-----	32
5.2.1.3. bassin Vieux port-----	32

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

1. Campagne d'échantillonnage et travaux à bord-----	35
2. Travaux réalisés au laboratoire-----	37
2.1. Calcul du rendement de détection-----	37
2.2. Calcul de la limite de détection-----	37
2.3. Calcul d'activité-----	38
2.4. Evaluation de la vitesse de sédimentation-----	38

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

CONCLUSION GENERALE-----	42
--------------------------	----

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Liste de figures

Figure 1: Les différentes voies de transfert atmosphérique-----	8
Figure 2: Les différentes voies de transfert aquatique-----	9
Figure 3: Retombées annuelles de Cs-137 depuis 1954-----	10
Figure 4: Synoptique d'une chaîne de spectrométrie Gamma-----	12
Figure 5: Carte de localisation géographique du port d'Alger-----	16
Figure 6 : Plan de masse du port d'Alger-----	18
Figure 7: Infrastructures du port d'Alger-----	20
Figure 8: Localisation des unités industrielles et rejets dans le port d'Alger-----	21
Figure 9 : Rose des vents annuels-----	22
Figure 10: Histogramme de températures moyennes-----	23
Figure 11: Histogramme de précipitation-----	24
Figure 12: Répartition mensuelle de la houle par direction et par mois au large d'Alger -----	26
Figure 13: La dynamique sédimentaire du secteur occidental de la baie d'Alger-----	28
Figure 14: Circulation des eaux dans le port d'Alger-----	29
Figure 15 : Carte bathymétrique du Port d'Alger-----	31
Figure 16: Carte de répartition des lutites dans les dépôts superficiels du port d'Alger-----	33
Figure 17: Carte de répartition des différentes classes granulométriques de la fraction pélique dans les dépôts superficiels du port d'Alger-----	34
Figure 18: Carte des points de prélèvement des carottes-----	36
Figure 19: Variation de l'activité du Cs-137 en fonction de la profondeur-----	40

Liste des tableaux

Tableau I : Principaux radionucléides cosmogéniques-----5

Tableau II : Tableau comparatif des activités des principaux radioéléments rejetés par
certains accidents et essais nucléaires-----6

Tableau III : Localisation géographique des carottes prélevées-----35

Tableau IV : Rendement de détection pour le Cs-137-----37

Tableau V : Valeurs de la limite de détection le long de la carotte-----38

Tableau VI : Résultat du comptage des échantillons le long de la carotte C1 de sédiment
pour l'analyse par spectrométrie gamma du Cs-137 et son activité spécifique-----40

Tableau VII : Activité du Cs-137 dans le sédiment superficiel du Port de Ghazaouet-----41



Introduction

Introduction

Les littoraux constituent des environnements fragiles dans lesquels se manifestent de multiples facteurs d'évolution aux actions, interactions et rétroactions complexes. Les hommes doivent savoir utiliser ces milieux sans en abuser (Paskoff, 1993).

Un développement durable représente un objectif réalisable. Il se fonde sur deux principales perspectives :

- Le développement socio-économique,
- La protection de l'environnement.

Les ports sont l'une des activités de développement qui demande l'intégration dans le contexte d'une gestion globale des côtes afin d'éviter le conflit et d'assurer la solidarité entre les différents autres secteurs.

La fonctionnalité d'un port dépend des conditions naturelles de son site d'implantation et des facilités ou commodités que permettent les aménagements de ses structures internes.

La mise en oeuvre des méthodes et moyens de reconnaissance de l'état physique du site est donc d'une importance cruciale.

Les mécanismes hydro-sédimentaires qui provoquent l'envasement et/ou l'ensablement des chenaux de navigation et des bassins du port ne sont pas maîtrisés, faute des techniques appropriées permettant de comprendre les processus de la dynamique sédimentaire.

A ce titre le port d'Alger a été choisi pour cerner le problème qui menace son fonctionnement ; l'envasement de ses bassins.

Pour cette étude, le mémoire se présente en quatre chapitres :

Le premier chapitre - Synthèse bibliographique - présente des notions générales sur la radioactivité, ses origines dans l'environnement, le comportement du radionucléide artificiel, le Cs-137, et la mesure de la radioactivité par la technique de spectrométrie gamma.

Le deuxième chapitre - Présentation de la zone d'étude - rappelle l'histoire, la description du port de point de vue géographique et structurale, ainsi que ses caractéristiques géomorphologiques.

Le troisième chapitre - Matériels et Méthodes - décrit la partie expérimentale, la localisation des points de prélèvement et les moyens utilisés, ainsi que les travaux de conditionnement et d'analyse des échantillons effectués au laboratoire.

Les résultats et interprétations sont présentés dans le quatrième chapitre.



CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

1. Notions de Radioactivité

1.1. Désintégration radioactive

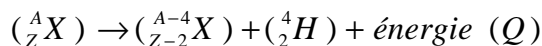
Le phénomène de radioactivité trouve son origine dans certains noyaux instables qui ont tendance à se transformer en noyaux plus stables par un réarrangement de nucléons. Ainsi la radioactivité est la transmutation spontanée d'un élément chimique en un autre élément, suivi de divers processus d'émission avec libération d'énergie sous forme de rayonnement particulaire (alpha ou bêta) ou de rayonnement électromagnétique (gamma), lors de la désexcitation du noyau.

1.2. Différents processus d'émission radioactive

1.2.1. Radioactivité alpha

Le rayonnement alpha provient de l'expulsion du noyau radioactif d'une particule alpha, qui est le noyau d'hélium (${}^4_2\text{He}$), composé de deux protons et de deux neutrons. Ce type d'émission correspond à la désintégration des noyaux lourds, de nombre atomique pour la plupart supérieur à 82, présentant un surplus de charges positives.

La réaction de désintégration est exprimée par :



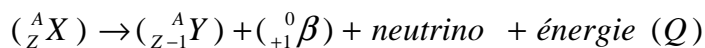
Où (${}^A_Z\text{X}$) est le noyau qui subit la désintégration ;

(${}^{A-4}_{Z-2}\text{X}$) est le noyau formé après désintégration ;

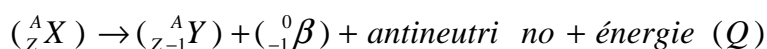
(${}^4_2\text{He}$) est la particule alpha émise.

1.2.2. Radioactivité bêta

Cette désintégration a lieu lorsque le noyau présente un excès de neutrons ou de protons. Comme résultante on a l'émission d'une particule positive ou négative. On parle d'émissions bêta+ (β^+) lorsque le noyau a un excès de protons et se traduit par leurs transformations en neutrons. Cette transition est exprimée par la réaction :



L'émission bêta- (β^-) est spécifique au noyau présentant un excès de neutrons qui entraîne leurs transformations en protons, suivant la réaction :



1.2.3. Radioactivité gamma

Contrairement à l'émission alpha et bêta, le rayonnement gamma est une onde électromagnétique, issue du noyau de l'atome fils et correspond à une désexcitation de ce dernier. L'émission gamma est obtenue lors des transitions du noyau d'un état excité à un état fondamental ou moins excité. Avec un excès d'énergie, le noyau va alors émettre plusieurs rayonnements gamma d'énergie déterminée et caractéristique du noyau.

1.2.4. Loi de désintégration

Selon la loi fondamentale de désintégration des noyaux radioactifs, le taux de transformation d'un radioélément par les différents processus radioactifs (α), (β), est proportionnel au nombre d'atomes présents. Cette décroissance radioactive suit une loi exponentielle et est exprimée comme suit :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (1)$$

Où

dN/dt est le taux de désintégration ;

λ la constante de désintégration radioactive.

L'intégration de l'équation (1) conduit à la loi exponentielle :

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (3)$$

Où

N est le nombre de noyaux radioactifs non désintégrés à l'instant t ;

N_0 : le nombre initial de noyaux à l'instant $t = 0$ (t_0) ;

$T_{1/2}$: le temps nécessaire pour que la moitié des noyaux instables se réduit à moitié seulement par désintégration radioactive ; temps de demi-vie.

Chaque isotope est caractérisé par une vitesse de désintégration ou activité radioactive, proportionnelle au nombre de noyaux instables N , présents à un temps t .

L'activité d'un radionucléide est donnée par l'équation suivante :

$$A(t) = \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Avec $A_0 = N_0 \lambda$ l'activité initiale

L'unité de l'activité est le Becquerel (1Bq = 1 désintégration/second)

2. Origines de la radioactivité dans l'environnement

Les compartiments de l'environnement en général et marin en particulier ont toujours été exposés aux rayonnements naturels depuis la création de la terre. Ainsi, les êtres vivants ont évolué et se sont développés en présence d'une exposition des rayonnements d'intensité dépendante du milieu écologique. De plus, l'homme par ses activités industrielles, de recherche et d'essais d'armes nucléaires a conduit en l'introduction d'autres quantités de radionucléides dans l'environnement.

La radioactivité du milieu marin a deux origines, l'une naturelle et l'autre artificielle.

2.1. Radioactivité naturelle

Le phénomène de la radioactivité naturelle a été découvert en 1896 par le chimiste français Henri Becquerel.

La contribution de la radioactivité naturelle à l'environnement est divisée en deux catégories :

- les radionucléides primordiaux qui ont existé depuis la création de la Terre (demi vie relativement longue), ils sont classés en deux groupes. Le premier concerne les radionucléides produits (^{40}K , ^{87}Rb , ^{115}In , ^{138}La , ^{147}Sm , ^{176}Lu , ^{187}Re ...) et le second concerne ceux qui résultent de la décroissance des trois séries radioactives (^{238}U , ^{235}U et ^{232}Th) (Annexe A).
- les rayonnements cosmiques (galactiques) qui conduisent, lors de ses interactions avec les différents constituants de l'atmosphère, à la formation des radionucléides appelés cosmogéniques.

Tableau I : Principaux radionucléides cosmogéniques (Blan in Arabi, 1997)

Elément	Be-10	C-14	H-3	Na-22	S-35	Be-7	P-33	P-32	Cl-35
Période	$2,7 \cdot 10^6$ ans	5570 ans	12,5 ans	2,6 ans	87 j	53 j	25 j	14,2 j	1 heure

2.2. Radioactivité artificielle

C'est une nouvelle source de radioactivité, apparue juste après la 2^{ème} guerre mondiale¹, et depuis cette époque, un apport continu et important de matières radioactives ne cesse de contaminer les différents compartiments de l'environnement.

Par ailleurs, les sources les plus importantes de radioactivité artificielle sont :

¹ Les rejets d'effluents liquides de la centrale atomique de Hanford dans le Nord-est de l'océan pacifique à travers la rivière de Columbia à la fin de l'année 1944 (Seymour, 1971 in Noureddine, 2007)

2.2.1. Tests d'armes nucléaires

Entre 1945 et 1990, environ 423 explosions nucléaires ont eu lieu dans l'atmosphère, libérant ainsi plusieurs radionucléides (Holm, 1994)

2.2.2. Installations nucléaires

Parmi ces installations, il y a les centrales nucléaires et les usines de traitement du combustible. Ces installations contribuent beaucoup dans l'apport en radioactivité artificielle à travers les rejets d'effluents radioactifs liquides et gazeux.

2.2.3. Accidents nucléaires

Les accidents nucléaires sont peu nombreux dans l'histoire de l'énergie nucléaire, et parmi les plus importants du point de vue radiologique, on distingue :

- Accident de Windscale : le 7 Octobre 1957 en Grande Bretagne ;
- Accident de Tree Mile Island (TMI): le 28 Mars 1979 aux U.S.A ;
- Accident de Tchernobyl: le 26 Avril 1986 à 1h23 en U.R.S.S. (Ukraine).

A ces accidents s'ajoutent les pertes de sous-marins nucléaires et l'explosion d'avions et de satellites à énergie nucléaire, qui représentent une source radioactive pouvant contaminer l'environnement aussi bien atmosphérique que marin. A titre d'exemple, on peut citer le cas des deux sous-marins russes « Kursk » et « Komsomolets », le satellite SNAP-9A, et l'avion américain B-52, qui contiennent encore des quantités importantes de radioactivité de l'ordre de PBq. (Noureddine, 2007)

Tableau II : Tableau comparatif des activités des principaux radioéléments rejetés par certains accidents et essais nucléaires (Paakola, 1989)

Radionucléide	Période	Radioactivité libérée en (Bq.10 ¹⁵)			
		Windscale	TMI	Tchernobyl	Essais nucléaires
Sr-89	50,5 j	0,00500	-	80	90.000
Sr-90	28,6 ans	0,00022	-	8	600
I-131	8,05 j	0,60000	0,00055	260	700.000
Te-132	78,2 j	12,00000	-	48	70.000
Xe-133	5,25 j	0,00120	55,5	1700	1.900.000
Cs-134	2,06 ans	0,04600	-	19	-
Cs-137	30,2 ans	-	-	38	960.000

Les principaux radionucléides rejetés peuvent être classés selon trois catégories (Annexe B) :

- Produits de fission qui résultent de la cassure de radionucléides fissiles ;
- Produits d'activation provenant du bombardement par les neutrons d'éléments stables présents dans les gaines des combustibles, les circuits et enceintes des réacteurs, etc.
- Les transuraniens.

3. Voies de transfert de la radioactivité dans l'environnement

Le transfert de radionucléides d'un milieu à un autre ainsi que leur comportement dépend d'une part des propriétés du milieu récepteur et d'autre part de leurs caractéristiques propres.

On distingue deux catégories de transfert :

3.1. Voies de transfert atmosphérique

Cette voie concerne essentiellement les aérosols provenant des retombées nucléaires, des rejets d'effluents gazeux, ainsi que les rayonnements naturels qui émanent du sol sous différentes formes (Hammadi, 1996).

Le transfert de la matière radioactive dans l'atmosphère est régi par deux processus fondamentaux :

- la dispersion dans l'atmosphère ;
- la diffusion vers les milieux terrestres et aquatiques.

Ceci est en relation avec les conditions climatiques et la nature du sol, ainsi que les caractéristiques physico-chimiques des radioéléments.

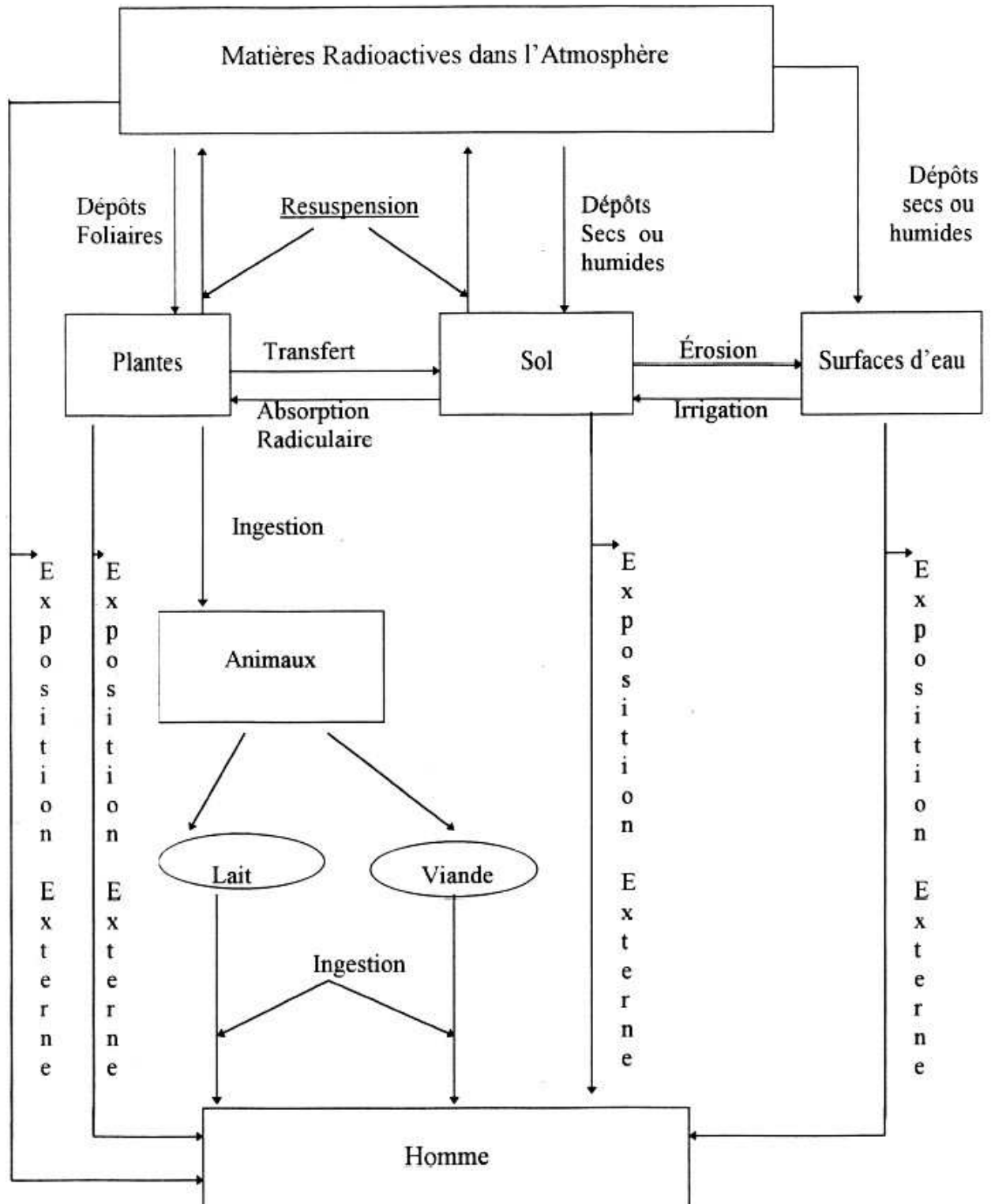


Figure 1: Les différentes voies de transfert atmosphérique (Hammadi, 1996)

3.2. Voies de transfert aquatique

Les matières radioactives qui arrivent au milieu aquatique vont transférer suivant deux types d'actions qui dépend de la forme sous laquelle les radionucléides se présentent.

- les formes solubles : qui sont soumis à une action de dilution suivi d'une dispersion dans l'eau ;
- les formes insolubles : qui subissent une action de fixation sur les formes colloïdales, les matières organiques ou biologiques finissent par la suite par se déposer au fond de l'eau par gravitation.

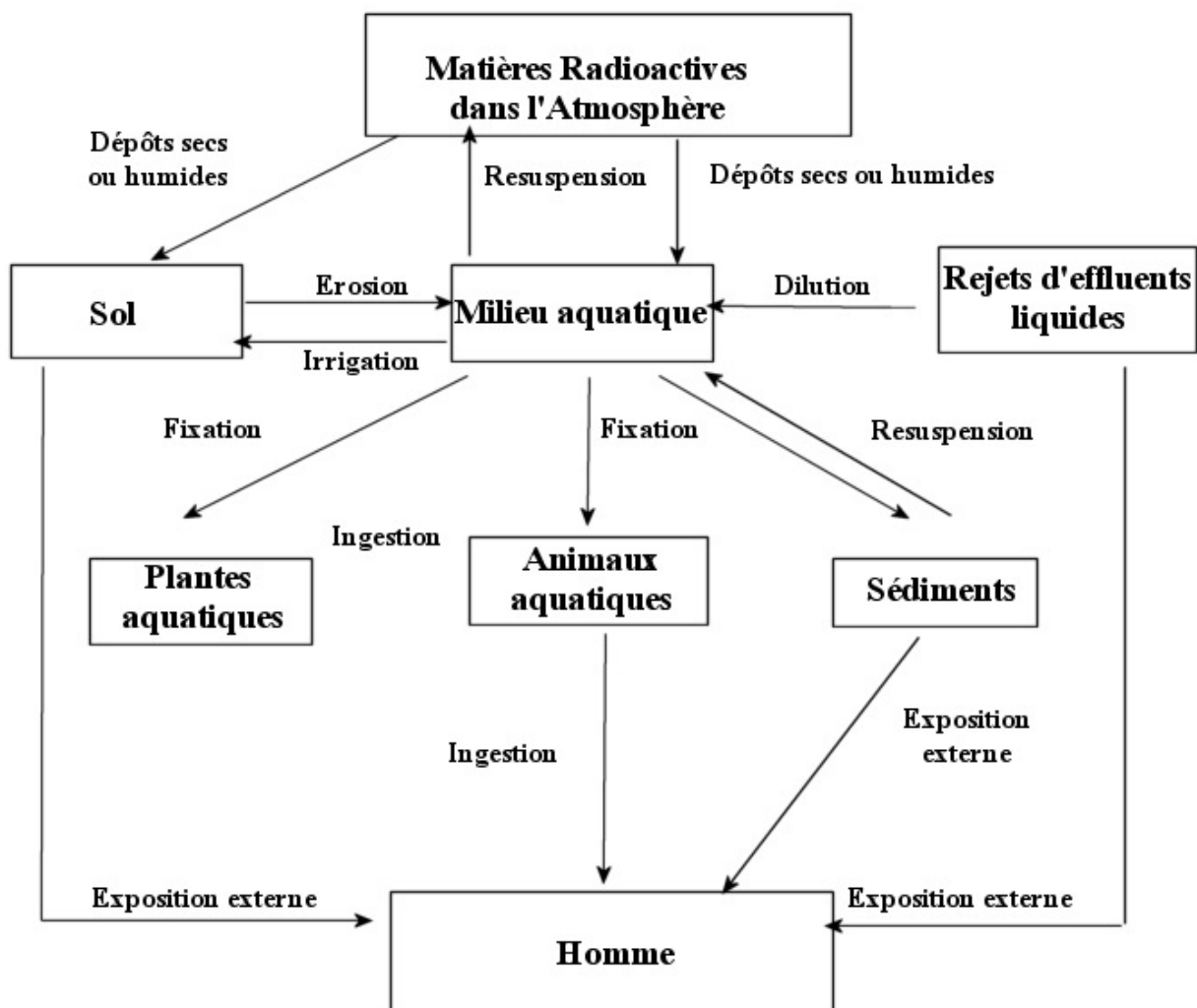


Figure 2: Les différentes voies de transfert aquatique (Hammadi, 1996)

4. Origine et comportement du Cs-137 dans l'environnement

Le Cs-137 est un radio-isotope artificiel créé lors de fissions d'atomes d'U-235 et de U-238, que ces fissions résultent de l'explosion d'une bombe nucléaire ou de l'exploitation d'un réacteur nucléaire qui ont injecté dans la stratosphère de nombreux produits « dérivés ».

Au cours de leur séjour dans la stratosphère, ils ont pu se répartir quasi-uniformément tout autour de la Terre, à l'Est comme l'Ouest, du Nord au Sud, en revanche, la répartition ne s'est pas homogénéisée et l'Hémisphère Nord a été beaucoup plus concerné (90%). Les zones de basse latitude, au voisinage de l'équateur, ont été les moins arrosées (Fig.3).

Dès que ces « dérivés » sont redescendus dans la troposphère, ils ont rapidement été entraînés par les pluies vers les sols. Ces retombées ont eu lieu entre les années 1954 et 1970, avec un maximum en 1963.

Le Cs-137 est un de ces dérivés et c'est lui qui apparaît actuellement le mieux dans les sols parce qu'il a été produit en relativement grande quantité, qu'une grande partie ne s'est pas encore désintégrée (période de 30,17 ans) et qu'il est émetteur gamma dans une région du spectre sans interférence avec des radio-isotopes naturels. Mais si on le retrouve dans les sols, c'est aussi parce qu'il s'est fixé très rapidement et très solidement aux particules du sol, principalement les plus fines, argiles et colloïdes (Bonté, 2006).

La période du Cs-137 et sa présence générale dans l'environnement à différentes concentrations, lui donne une place particulière pour l'étude des différents phénomènes naturels, tels que la sédimentation, l'érosion, et la distribution de la radioactivité (Noureddine, 2007).

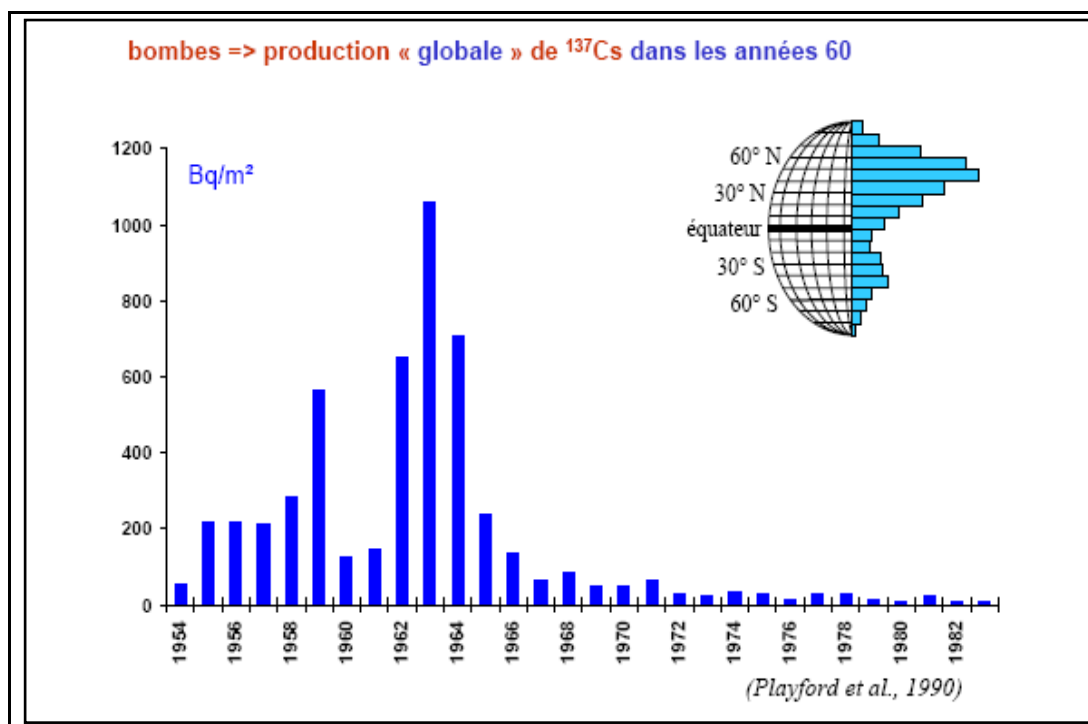


Figure 3: Retombées annuelles de Cs-137 depuis 1954
(Playford et al, 1990 in Bonté, 2006)

5. Mesure de la radioactivité par spectrométrie gamma

5.1. Principes

La spectrométrie gamma est une méthode relativement simple qui permet de détecter plusieurs radionucléides émetteurs de rayonnement gamma dans une variété d'échantillons donnés (Noureddine, 2007).

Elle présente un intérêt par sa nature non destructive et sa simplicité de mise en œuvre, même si elle n'est pas la technique la plus performante (Le Petit et Granier, 2002).

Le rayonnement gamma, est émis avec une ou plusieurs énergies bien déterminées et référencées dans une bibliothèque de données nucléaires, et recueillis par un détecteur. La mesure donne un spectre de raies où l'amplitude est proportionnelle à l'activité du radionucléide et l'emplacement sur l'axe des abscisses indique l'énergie du radionucléide.

Les échantillons sont conditionnés et présentés dans des flacons de différentes géométries.

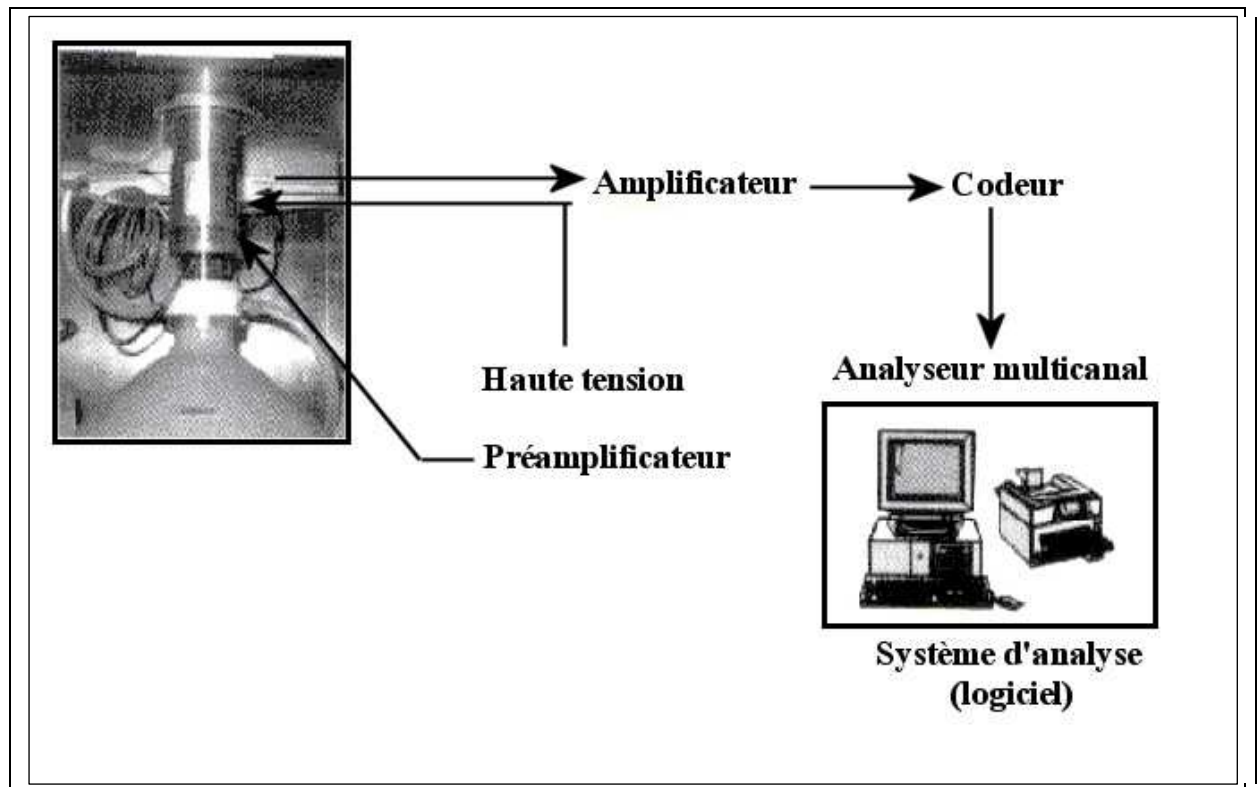
La préparation et l'utilisation des échantillons standards, ayant les mêmes conditions que l'échantillon à analyser, est indispensable pour une quantification fiable des radioéléments émetteurs gamma (Noureddine, 2007).

5.2. Appareillage

La chaîne de mesure est constituée de :

- un détecteur GeHP ;
- une Haute-Tension ;
- un Préamplificateur ;
- un Amplificateur ;
- un codeur ou un convertisseur analogique-numérique ;
- une électronique d'acquisition (analyseur multicanal) ;
- un système d'analyse de spectre (logiciel).

Un blindage en plomb est utilisé pour limiter la contribution du bruit de fond ambiant.



**Figure 4: Synoptique d'une chaîne de spectrométrie Gamma
(Le Petit et Granier, 2002)**

Les détecteurs utilisés sont de germanium hyper pur (GeHP) de type coaxial n ou p, d'efficacité déterminée au 2^{ème} pic du Co-60. Chaque détecteur est monté sur un cryostat alimenté en azote liquide pour un refroidissement à 77°K, et le tout est placé dans un château en plomb de 10 mm d'épaisseur. Recouvert à l'intérieur d'une plaque de cuivre de 2 mm d'épaisseur. Le détecteur est alimenté par une haute tension 0-6kV, le préamplificateur est monté sur le détecteur alimenté par un amplificateur linéaire conventionnel qui amplifie les impulsions en leur donnant une forme gaussienne.

Le système de traitement est constitué d'un analyseur multicanaux avec un minimum de 4096 canaux. Le tout est géré par différents logiciels de traitement et d'analyse (Noureddine, 2007).

5.3. Résolution en énergie

La résolution en énergie est définie par la largeur de l'impulsion à mi-hauteur et dépend du type de détecteur ainsi que de l'énergie considérée. Elle est souvent exprimée en pourcentage.

$$R(\%) = \frac{LTMH}{H} \cdot 100 \quad (5)$$

LTMH : Largeur totale à mi-hauteur
H : Hauteur de l'impulsion

La calibration en énergie d'une chaîne de mesure utilisée nécessite des sources étalons couvrant la gamme d'énergie d'intérêt de 30 keV à 2000 keV. Il s'agit des sources d'Am-241, de Cs-137 et de Co-60. D'autres sources peuvent être aussi utilisées, notamment Eu-152, Ba-133, etc.

La calibration en énergie, partie essentielle pour l'identification des pics d'énergie est exprimée par une équation linéaire

$$E(x) = a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (6)$$

Où x et $E(x)$ représentent respectivement le numéro du canal et l'énergie du pic considéré, les a_i étant des coefficients à déterminer (Bicheron, 1995 in Noureddine, 2007).

5.4. Bruit de fond

Le spectre mesuré représente le rayonnement absorbé dans le détecteur. Il est constitué de la superposition du spectre produit par le rayonnement gamma issu de l'échantillon analysé et de la contribution de la radioactivité ambiante apportée par différentes composantes du bruit de fond, à savoir :

- Le bruit de fond provoqué par l'électronique de mesure ;
- Le bruit de fond de la radioactivité ambiante provenant des matériaux du cristal de germanium et du rayonnement cosmique ;
- Le bruit de fond de la matrice vierge appelé blanc.

La contribution principale au bruit de fond est la radioactivité des matériaux du détecteur et de l'enceinte de mesure. Il s'agit essentiellement des raies X de fluorescence du plomb du blindage et des raies de radionucléides naturels des familles ^{232}Th et ^{238}U (^{210}Pb , ^{214}Pb et ^{214}Bi), du ^{40}K et éventuellement des raies du ^{60}Co et du ^{137}Cs (Noureddine, 2007).

5.5. Efficacité de détection

L'efficacité est défini comme étant le rapport entre le nombre de photons mesuré dans le spectre et celui présent dans l'échantillon, et donné par l'expression suivant :

$$\varepsilon = \frac{\text{Nombre de photons mesurés dans le spectre}}{\text{Nombre de photons émis de l'échantillon}} \quad (7)$$

La calibration en efficacité permet d'établir la relation entre la surface d'un pic et l'activité du nucléide, généralement connue, produisant le pic :

$$\varepsilon = \frac{N}{A \cdot I \cdot t} \quad (8)$$

Où

ε : efficacité d'absorption totale (%) pour l'énergie E

A : activité (Bq)

N : comptage du pic

I : (%) intensité d'émission absolue de la raie γ considérée d'énergie E de ce nucléide

t : durée du comptage en seconde

L'efficacité du système dépend de plusieurs paramètres, notamment l'énergie du photon, la nature et la géométrie du flacon utilisé, les dimensions du détecteur, la distance source - détecteur, le blindage ainsi que les matériaux entourant la chaîne de spectrométrie gamma.

5.6. Calcul d'activité

Pour le calcul d'activité on considère toujours le radioélément ayant la probabilité d'émission ou le taux de branchement le plus important, dans le but d'avoir une meilleure statistique de comptage et par conséquent un résultat fiable.

$$A = \frac{(Nr \cdot C)}{(\varepsilon \cdot I \cdot m \cdot t)} \quad (9)$$

Où

$Nr = N_{\text{net}} - N_{\text{BF}}$ est le comptage réel en coups ;

I est la probabilité d'émission en % ;

m est la masse en g de l'échantillon à analyser ;

t est le temps de comptage en seconde ;

C représente les différents termes correctifs (facteurs de décroissance radioactive, correction d'atténuation, correction de coïncidences).

L'incertitude absolue sur l'activité est donnée par :

$$\frac{\sigma A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma Nr}{Nr}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\sigma m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma t}{t}\right)^2} \quad (10)$$

Avec :

$$\sigma N = \sqrt{N} \quad (11)$$

5.7. Limite de détection

La limite de détection ou activité minimal détectable (AMD) permet d'exprimer la sensibilité d'un système donné qu'on peut atteindre sous certaines conditions de travail. Elle dépend de plusieurs paramètres, dont les plus importants sont (Noureddine, 2007) :

- les caractéristiques du détecteur (résolution, efficacité) ;
- la radioactivité ambiante (bruit de fond du détecteur, sources externes...) ;
- la géométrie du flacon et la position de l'échantillon par rapport au détecteur ;
- la qualification du personnel ;
- l'assurance de la qualité des résultats.



CHAPITRE II

*Présentation de
la zone d'étude*

1. Situation géographique

Le Port d'Alger construit à l'extrême Ouest de la baie d'Alger, est localisé au pied du massif de la Bouzaréah, et est limité à l'Ouest par la ville d'Alger.

Il se situe entre $03^{\circ} 03' 44''$ et $03^{\circ} 04' 60''$ de longitude Est et entre $36^{\circ} 45' 44''$ et $36^{\circ} 47' 43''$ de latitude Nord (Fig. 5).

De par sa situation géographique, le port d'Alger dessert plusieurs wilayas et assure le traitement de différentes catégories de marchandises: vrac, solides et liquides, les conteneurs, les véhicules et engins lourds, ainsi que les passagers et véhicules légers (gare maritime).

2. Historique

En 1830, le port offrait une superficie de 3 hectares 50 ares avec une passe de 130 mètres de large au Sud.

Il comprenait : la jetée Nord, l'actuelle grande jetée Kheir-Eddine, la jetée du Sud (dite du large), les rampes reliant les quais à la ville, deux formes de radoub, gare et voies ferrées, ces dernières furent achevées en 1865.

La construction du bassin de l'Agha s'est faite de 1870 à 1914.

De 1914 à 1940, construction du bassin Mustapha qui est séparé du bassin de l'Agha par le grand môle Bologhine et par une passe de 100 m.

De 1950 à 1953 Construction de la gare maritime au môle El Djazaïr;

De 1961 à 1963, construction du môle de Skikda;

De 1987 à 1988 remblayage de la darse de Calvi et réalisation d'un appontement en duc d'Albe et de six rampes Ro/Ro;

De 1994 à 1998, construction du Terminal à Conteneurs d'une superficie de 17,5 ha et d'une capacité de plus de 250.000 EVP.

De ce fait, le Port d'Alger est le plus important port de marchandises générales en Algérie avec près de 10 Km de quai offrant des profondeurs variant de -7 à -11 m.

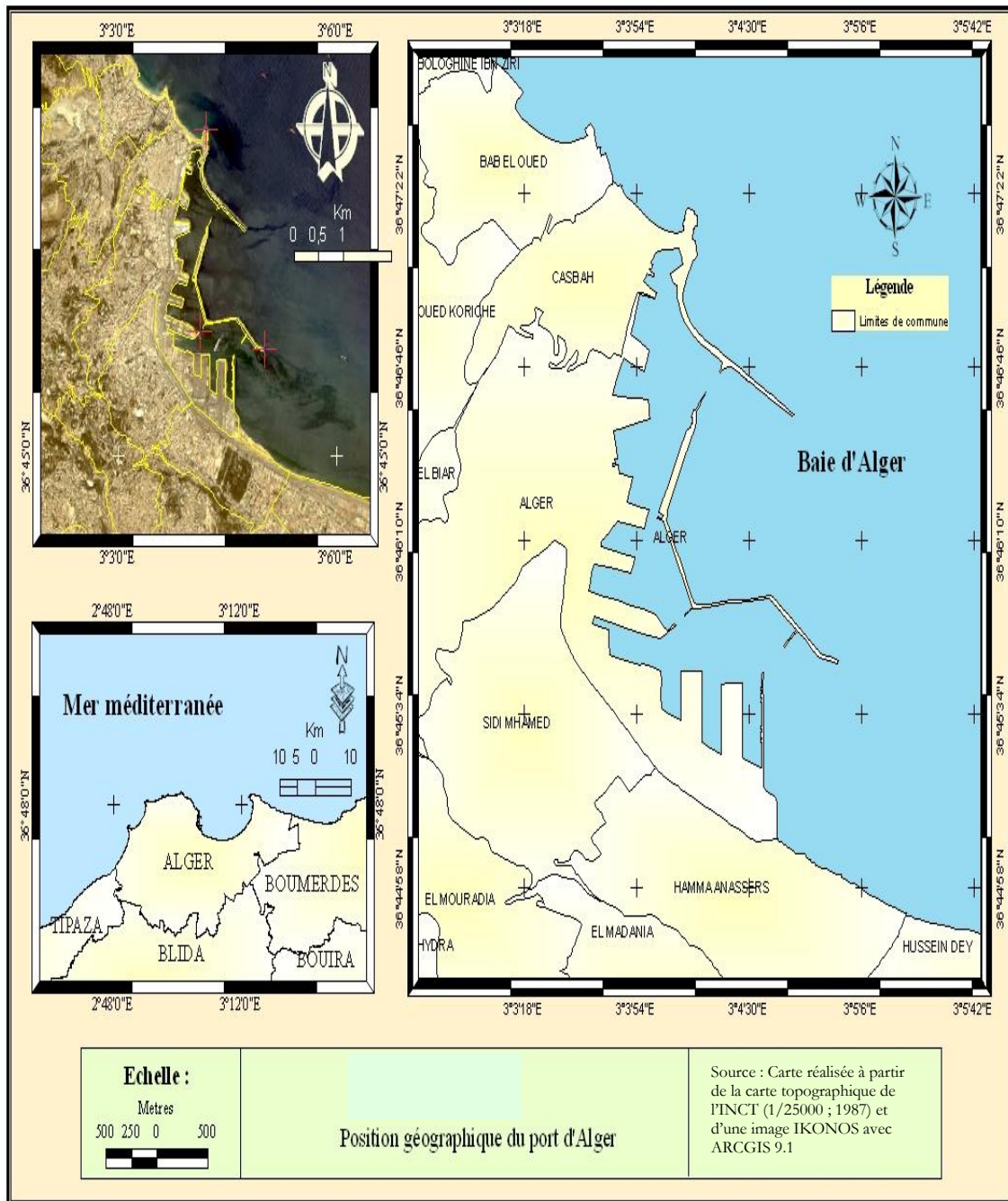


Figure 5: Carte de localisation géographique du port d'Alger (Louchami, 2006)

3. Caractéristiques du port

3.1. Les différentes fonctions du port

Les différentes activités qui y sont menées sont :

- Commerce ;
- Pêche ;
- Port militaire.

Ces activités sont réparties géographiquement sur les trois bassins.

Le port de commerce occupe les bassins de Mustapha et de l'Agha.

Le port de pêche et la base navale d'Alger, occupent une partie du Vieux Port.

3.2. Le plan d'eau

Le Port d'Alger couvre un plan d'eau de 184 ha avec des profondeurs pouvant atteindre les -15m par endroits.

3.3. La capacité d'entreposage

Le Port d'Alger dispose d'une surface totale d'entreposage de 282.000 m², représentant 24% de la surface totale uniformément répartie entre les 3 zones géographiques du port et accueillant diverses marchandises (Fig.6).

- Terre pleins de 232.000 m² ;
- 16 magasins de 50.000 m².

Cette capacité permet l'entreposage de 120.000 tonnes de marchandises, alors que le volume moyen débarqué mensuellement aujourd'hui est de 800.000 tonnes.

3.4. Terminal à conteneurs

Réceptionné en 1998, le terminal à conteneurs s'étend sur une surface de 17 hectares. Il dispose de quatre (04) postes à quai de 600 ml avec un tirant d'eau de 9 à 11mètres.

3.5. Installations spécialisées

Une gare maritime située au quai 11, un silo à céréales au quai 35, un hangar à céréales au quai 26, les postes pétroliers situés au quai 37 et deux (02) formes de radoub servant à la réparation navale.

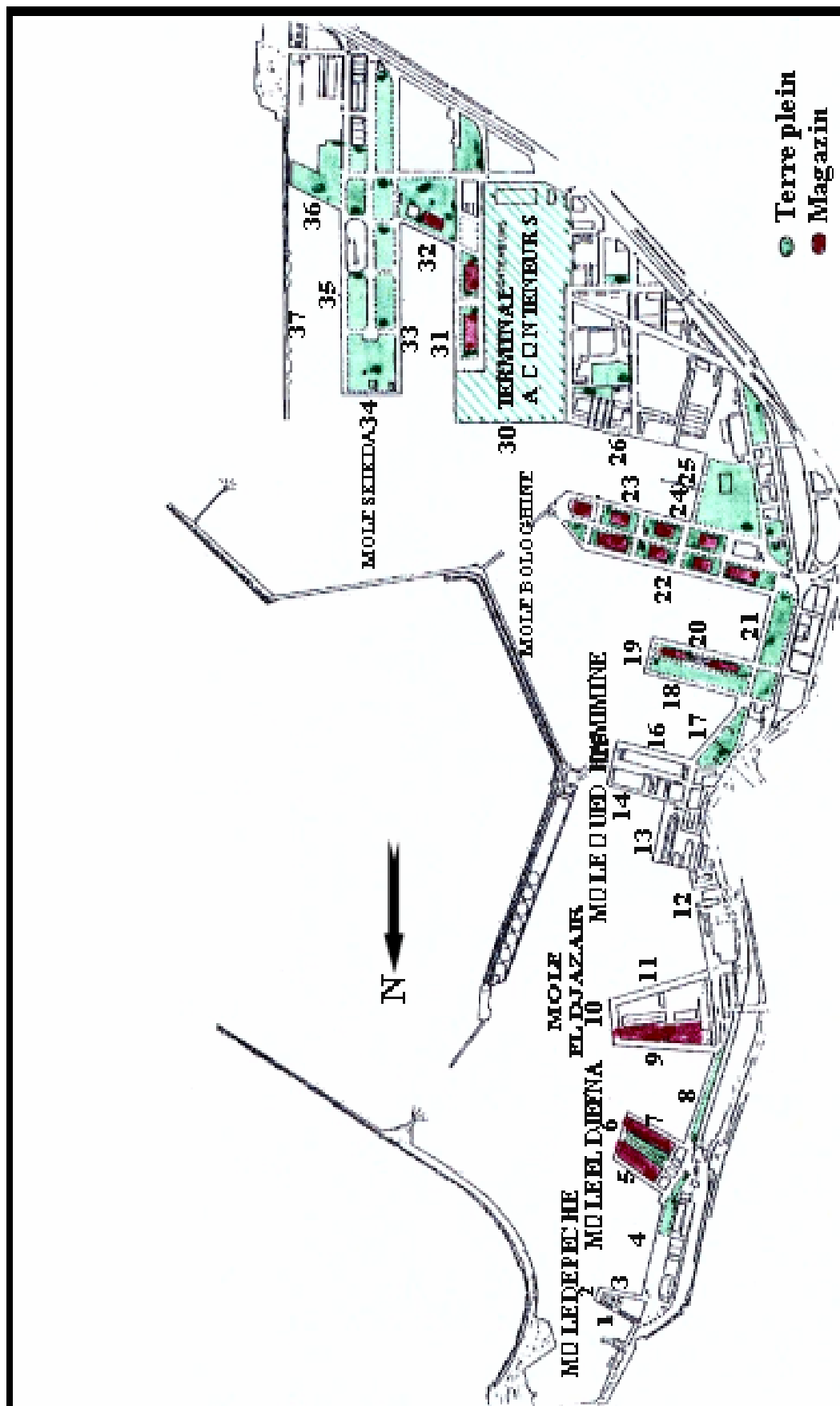


Figure 6 : Plan de masse du Port d'Alger (EPAL)

3.6. Les infrastructures

Le Port d'Alger présente trois bassins, quatre jetées et un linéaire de quais de 8609,80 m (Fig. 7).

3.6.1. Accès

L'accès au port s'effectue par deux passes :

- Passe Nord : 176 m de largeur et 22 de profondeur ;
- Passe Sud : 240 m de largeur et 16 m de profondeur.

3.6.2. Bassins

Le Port d'Alger se subdivise en trois bassins :

- Bassin du Vieux Port : 74 ha de plan d'eau avec des profondeurs de -7 à -19 m ;
- Bassin de Agha : 35 ha de plan d'eau avec des profondeurs de -6 à -12 m ;
- Bassin de Mustapha : 75 ha de plan d'eau et une profondeur de -7 à -15 m.

3.6.3. Jetées et brise-lames

Le Port d'Alger est doté de quatre jetées et d'un brise-lames :

- Au Nord : jetée de Kheir-Eddine, d'une longueur de 1290 m ;
- A l'Est : jetée du Vieux Port (môle Guelma) et celle de l'Agha (1500 m de longueur) ;
- Au Sud-est : jetée de Mustapha (1304 m de longueur) ;
- Au Sud : brise-lames d'une longueur de 1500 m.

3.7. Les rejets des eaux usées

Les points de rejets d'eaux usées (urbains et industrielles) sont au nombre de 25, les plus importants sont (Fig. 8).

- Emissaires pour les déchets de NAFTAL et SONALGAZ au quai 26 ;
- Rejets de déchets d'hydrocarbures et l'usine huilière et la savonnerie (ex :ENCG) au niveau du quai 32.

Les autres exutoires rejettent surtout les eaux usées d'origine urbaine (ville d'Alger et infrastructures portuaires).

La présence de tous ces rejets au niveau des bassins contribuera certainement à une très grande part du phénomène de pollution d'autant plus que le port est une zone semi-fermée, favorisant ainsi la concentration des polluants.

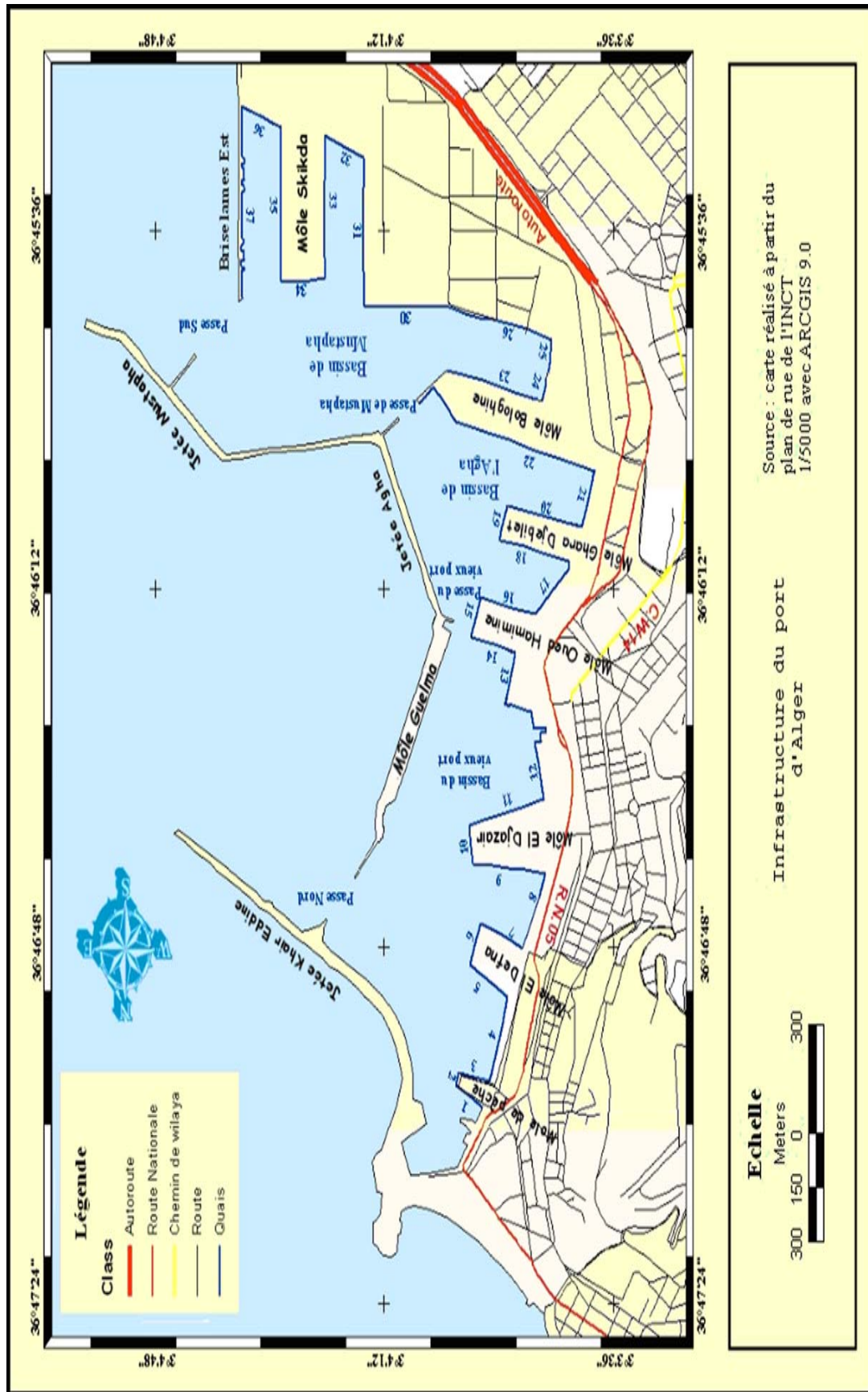


Figure 7: Infrastructures du Port d'Alger

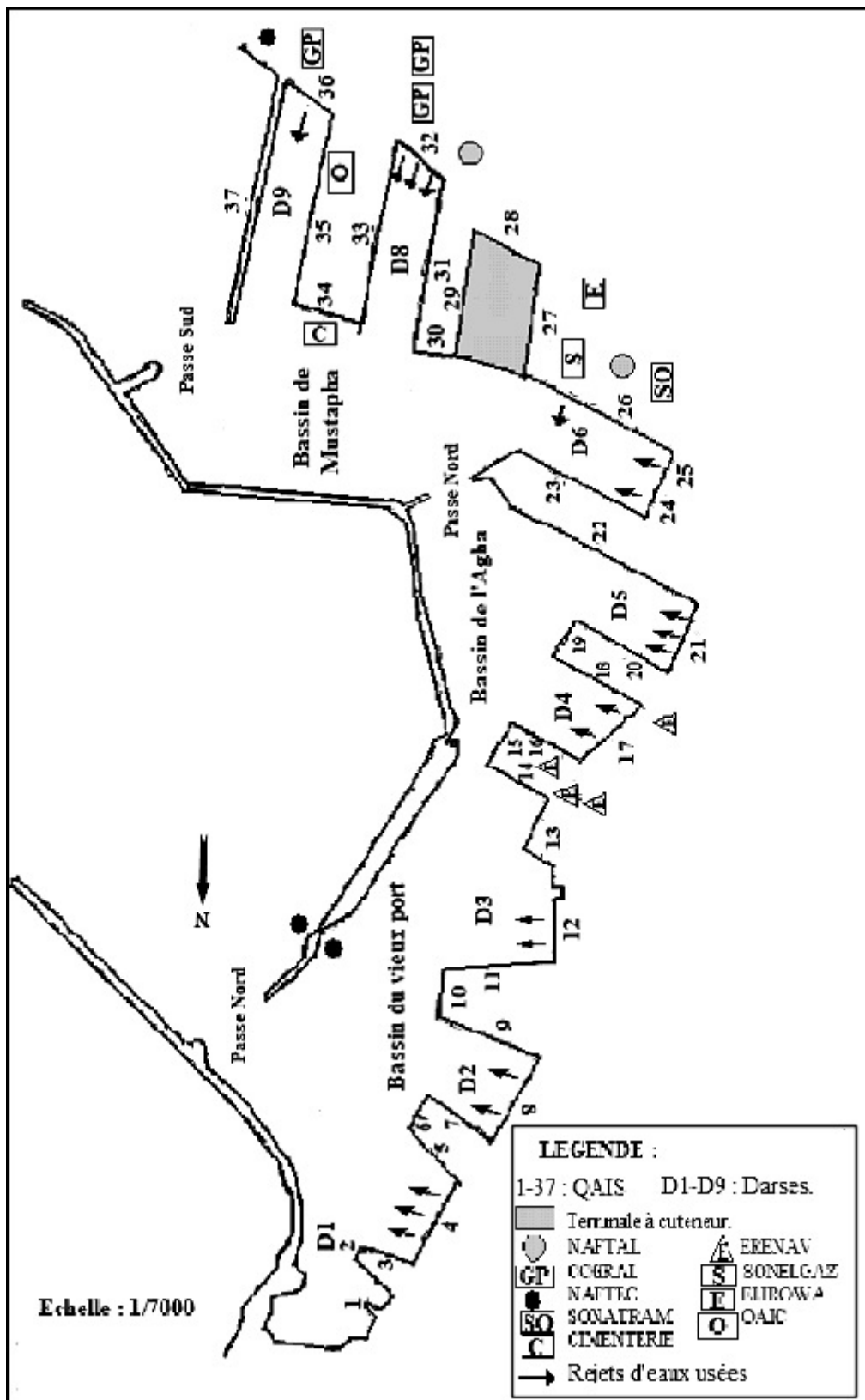


Figure 8: Localisation des unités industrielles et rejets dans le Port d'Alger (EPAL)

4. Paramètres météo-océanologiques

4.1. Les données météorologiques

Comme toutes les zones littorales méditerranéennes, Alger bénéficie d'un climat sec et chaud en été, froid et humide en hiver.

4.1.1. Le vent

Le Port d'Alger se situe au pied du massif de Bouzaréah, les vents de direction NW, W et SW ne l'affectent pas ; quant aux vents de direction N, NE et E, ils arrivent sans atténuation sur les ouvrages portuaires. (Ben Aissa et al, 2006)

Les études faites par l'United States Naval Weather Service (USNWS) au large d'Alger sur la période de 1963 à 1970 ont montré l'existence de quatre directions de dominance annuelle : W, E, NE, SW.

Les vents de direction W, NE et E sont les plus fréquents (25%, 16,9%, 14,6%), tandis que les vents des autres secteurs ont des fréquences d'apparition inférieure à 10,50%. Les périodes de calme représentent 7% (Fig. 9).

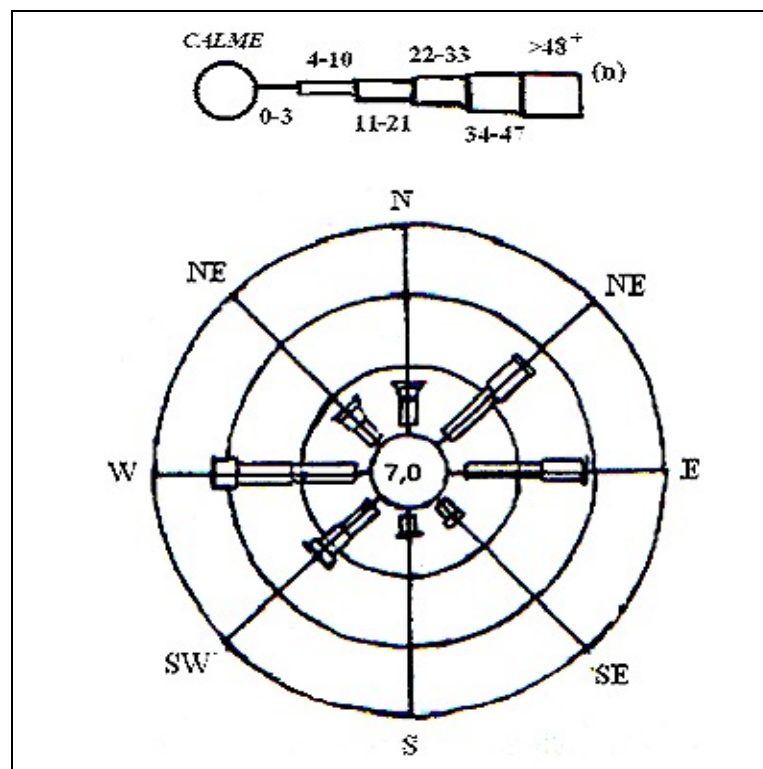


Figure 9 : Rose des vents annuels.

4.1.2. Température

L'Office National de la Météorologie (ONM) a enregistré pendant trois ans (1996, 2003 et 2004) dans la région du port d'Alger, les températures moyennes de l'air.

La température moyenne maximale est enregistrée durant la période estivale pour les deux saisons est relevée en moi d'Août (26 à 27 °C) et la température minimale est relevée en mois de Février (11 à 14 °C) (Fig. 10).

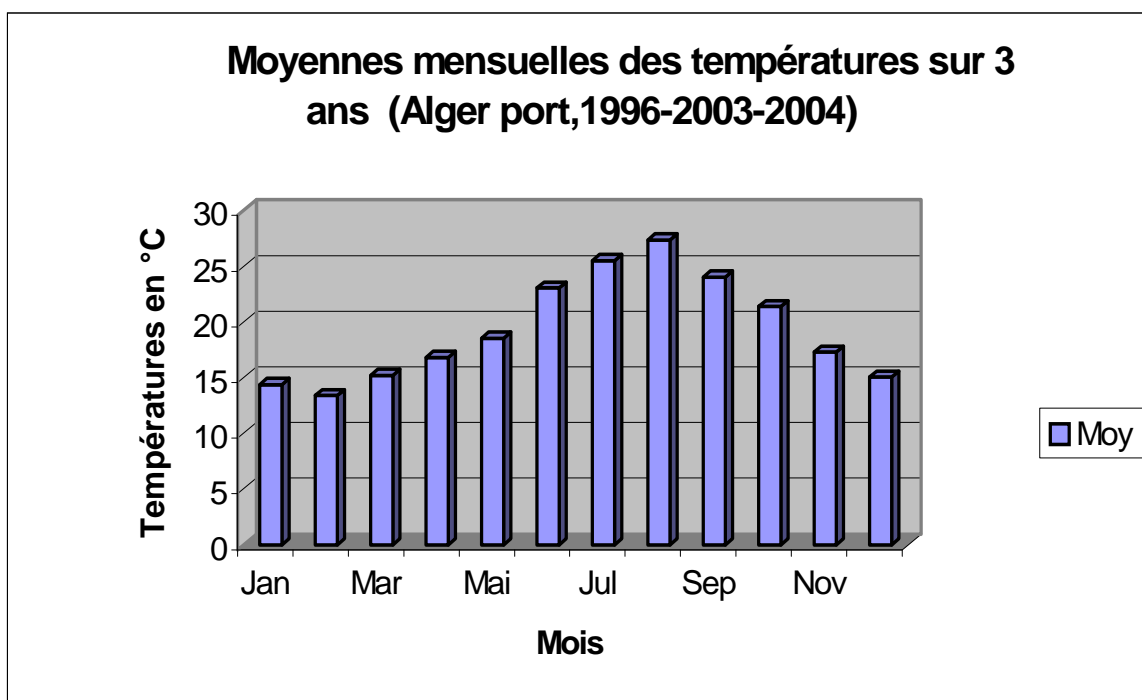


Figure 10: Histogramme de températures moyennes.

4.1.3. Pluviométrie

Les données enregistrées par l'ONM ont montré que pour la région du port d'Alger, sur les trois ans de mesure (1996, 2003 et 2004), la moyenne des précipitations est de 796 mm (Fig. 11).

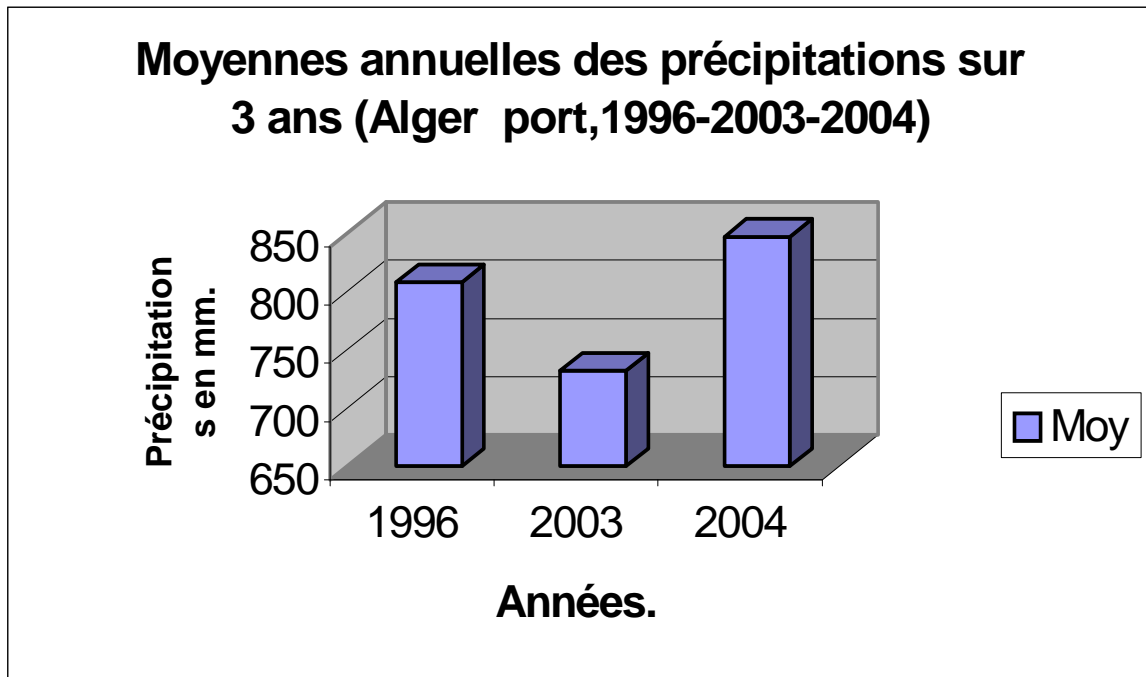


Figure 11: Histogramme de précipitation.

4.2. Les données hydrodynamiques

4.2.1. La houle

La houle est définie par Guilcher (1979) comme un système de vagues plus ou moins réguliers, dans lequel la hauteur est relativement faible par rapport à la longueur d'onde et qui se propage dans la mer hors de la présence du vent qui en a été la cause initiale.

Dans le littoral algérois, les houles ont un régime saisonnier comme le reste du précontinent algérien (Leclaire, 1972).

Le traitement de 45000 relevés de houle effectués au large d'Alger durant la période 1963 à 1970 par l'USNWS, nous ont permis de déterminer les directions de houle dominantes par mois récapitulées dans le figure 12.

Deux directions de houles dominant (NE et W), elles sont les plus fréquentes avec 18,3% et 25,1% respectivement.

- Durant la période s'étalant de Mai à Septembre, ce sont les houles de direction Nord-Est qui dominant (plus de 29,45%) et qui arrivent au port sans aucune modification. Elles peuvent dépasser 3,25 m en certaines périodes de l'année.
- Durant la 2^{ème} période s'étalant de Octobre à Avril, ce sont les houles Ouest qui dominant (19,4%) avec des amplitudes supérieures à 3,25 m, mais n'atteignent que peu ou rarement le Port d'Alger, car elles subissent la diffraction due au massif de Bouzaréah.

Les houles de tempête proviennent essentiellement de cette direction.

Les houles du Nord ont une répartition uniforme sur toute l'année avec des fréquences d'apparition plus ou moins importantes durant la période hivernale, leur amplitude est supérieure à 3,25 m.

Les fréquences d'apparition des houles de direction Nord-Ouest sont les plus faibles, mais celles-ci affectent directement le Port d'Alger.

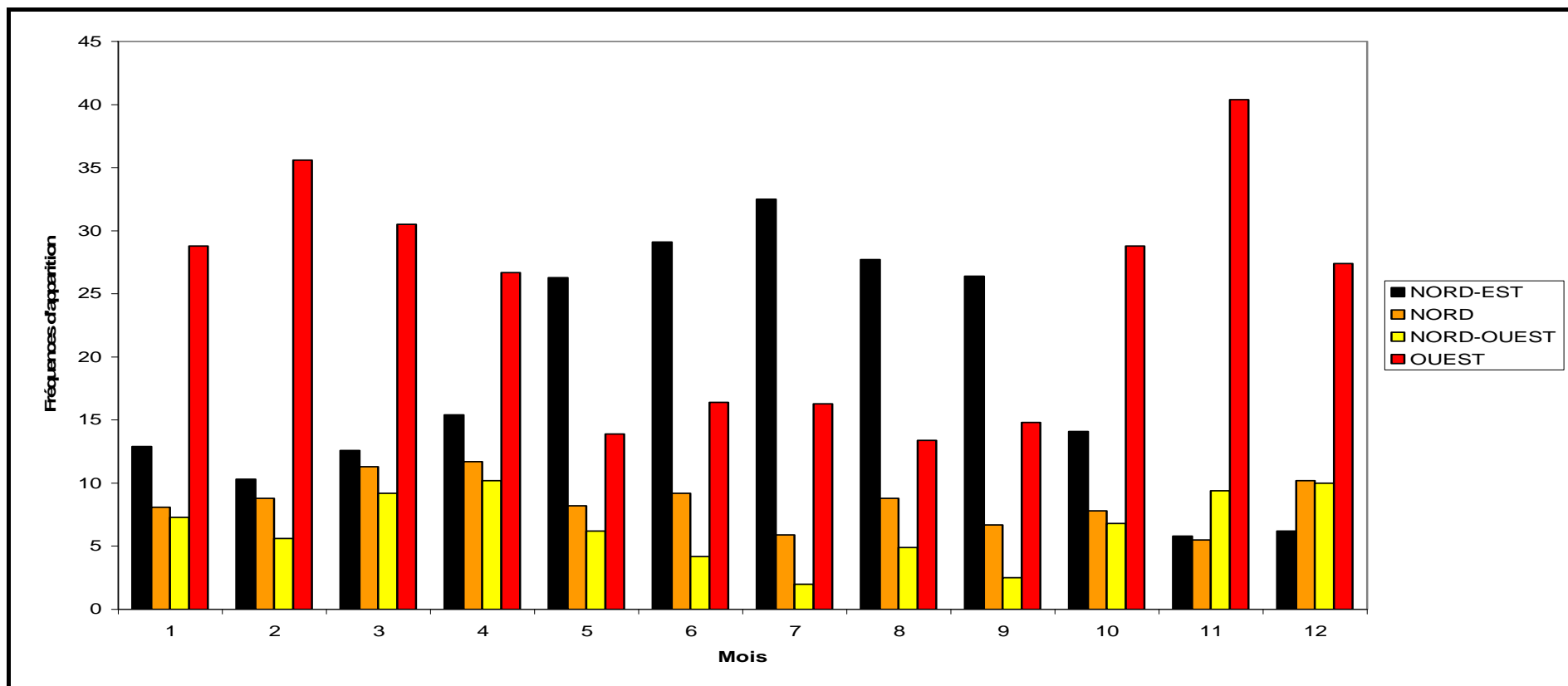


Figure 12: Répartition mensuelle de la houle par direction et par mois au large d'Alger

4.2.2. Les courants

Les courants sont des déplacements d'eau, caractérisés par une direction, une vitesse et un débit précis (Bernabé et Bernabé-Quet, 1997).

Les courants généraux sont formés (Chapon, 1984) :

- Par des forces extérieures au milieu marin (vents) ;
- Par des forces intérieures du milieu marin (différence de salinité ou de température à l'intérieur de la mer).

La baie d'Alger est baignée par les eaux de type atlantique (Rebzani-Zahaf, 1990). Ces eaux atlantiques sont introduites dans la baie par le courant algérien décrit par Millot (1985) : c'est un écoulement lent le long des côtes et orienté Ouest Est, induisant des contre-courants au niveau de chaque baie ou golf rencontré.

Les vitesses mesurées sont en moyennes de l'ordre de 0,1 à 0,6 m/s ; exceptionnellement, par fort vent, on a mesuré jusqu'à 1m/s en baie d'Alger (Leclaire, 1972).

La marée est très faible sur les côtes algériennes, elle ne dépasse pas les 20 cm.

4.2.2.1. La dérive littorale (Longshore Current)

Les houles qui arrivent avec une certaine obliquité génèrent un courant parallèle à la côte ; le courant de dérive.

Ce courant n'affecte le port par la Passe Sud que si les houles sont de directions N ou NE (Fig13).

4.2.2.2. Le courant de retour

L'apport d'eau à la côte, dû au déferlement qui transforme les vagues d'oscillation en vagues de translation est compensé par un retour d'eau vers le large (Paskoff, 2003).

Ce courant cause d'énormes dommages à la côte et aux jetées portuaires en arrachant les sédiments pour les transporter vers le large.

Dans le secteur occidental de la baie d'Alger, les houles du Nord et Nord-ouest arrivent d'une manière frontale sur la côte, au niveau des sablottes, et provoquent des courants de retour. Ces derniers vont entraîner les sédiments arrachés à la côte vers le large et vers la passe Sud du Port d'Alger (Hocini et al, 1997) (Fig.13).

Le Port d'Alger est aussi soumis à des ondes de seiches qui sont de lentes oscillations du plan d'eau, dont la période est comprise entre 1 et 10 minutes (dans le port : 3 min) et la longueur d'onde de plusieurs centaines de mètres, mais dont l'amplitude ne dépasse quelques décimètres (Chapon, 1984).

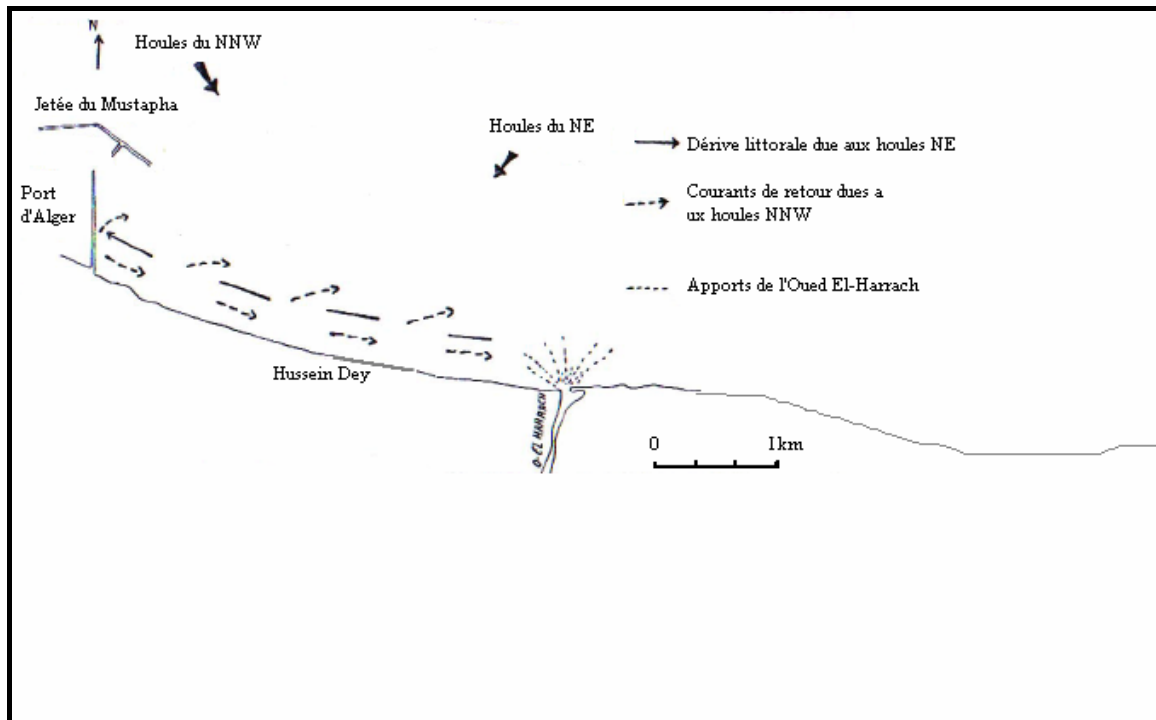


Figure 13: La dynamique sédimentaire du secteur occidental de la baie d'Alger (Slimani et Taouataou, 1995)

4.2.2.3. La circulation des eaux dans le port

Rebzani-Zahaf (1990) a montré l'existence d'une circulation des eaux dans le port à partir des deux passes Nord et Sud (Fig.14).

Les eaux circulent dans les bassins du Nord au Sud et du Sud au Nord. La circulation est plus intense dans le Vieux Port contrairement aux deux autres bassins Mustapha et l'Agha.

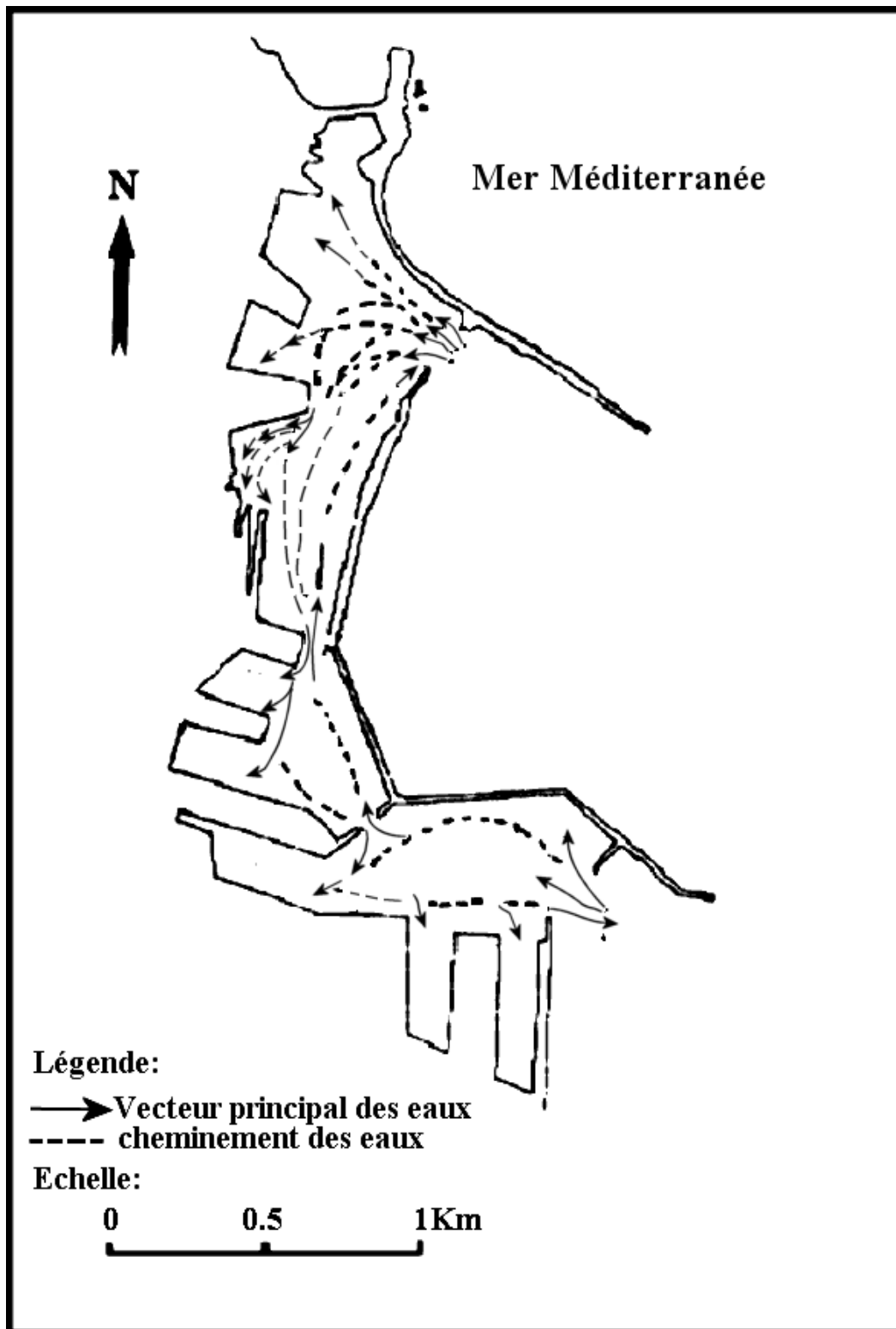


Figure 14: Circulation des eaux dans le Port d'Alger (Rebzani-Zahaf, 1990)

5. Caractères bathymétrique et sédimentologique

5.1. Bathymétrie

5.1.1. Bassin du Vieux Port

Les profondeurs dans ce bassin varient entre -2m et -19m, les plus faibles profondeurs sont relevées au long de la jetée du Vieux Port, et au niveau de la capitainerie (-2m). Ces profondeurs évoluent suivant un gradient croissant à partir du môle Al-Djefna et môle El-Djazaïr avec une pente relativement douce allant jusqu'à (-19m) au niveau de la passe Nord, qui sert d'accès aux navires à grand tirant d'eau.

La profondeur moyenne du bassin est de -12m à -17m.

5.1.2. Bassin de l'Agha

Les profondeurs varient entre -5m et -12m, les plus importantes sont situées à l'intérieur du bassin entre -10m et -12m et diminuent progressivement en allant vers les darses et la jetée Agha jusqu'à -9m.

5.1.3. Bassin Mustapha

Les profondeurs dans le bassin Mustapha sont comprises entre -2m et -16m. L'essentiel des profondeurs est comprise entre -11 et -15 m.

Au niveau de la passe Sud, l'espacement des isobathes est régulier, les profondeurs augmentent progressivement de -6m à -14m à partir du Brise lame Est jusqu'à la passe Sud, où elles sont plus importantes.

Le long de la jetée Mustapha, les isobathes sont serrées -2m à -14m; Quant à l'intérieur du bassin, les profondeurs varient peu -11m à -15m..

Notons la présence d'un haut fond à -5,7m à l'intérieur de la darse 3 ainsi qu'une irrégularité des profondeurs qui est peut être due probablement aux plusieurs travaux de dragages entrepris dans cette darse.

Le Port d'Alger est constitué de trois bassins dont la bathymétrie est plus au moins différente avec le maximum de profondeur dans le bassin Vieux Port et le bassin Mustapha .Le bassin Agha est des trois le moins profond (Fig. 15).

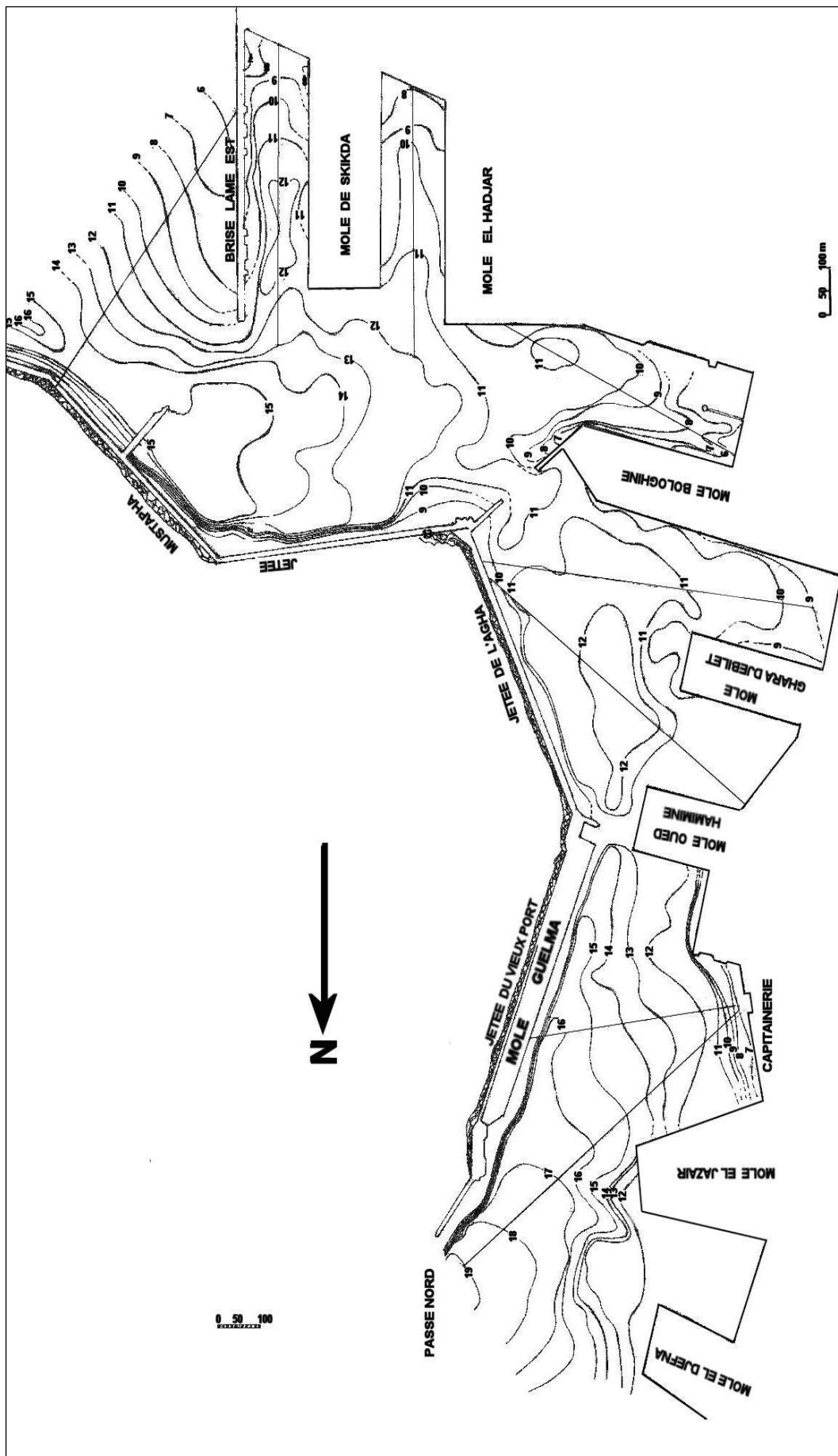


Figure 15 : Carte bathymétrique du Port d'Alger
(Hocini et al, 1998)

5.2. Sédimentologie

5.2.1. Répartition des lutites (Fig. 16)

5.2.1.1. Bassin Mustapha

La répartition des lutites montre à partir du brise-lames Est un gradient croissant au fur et à mesure que l'on s'approche à la jetée Mustapha.

Les teneurs les plus fréquentes sont comprises entre 90 et 95% au centre du bassin. Les taux en pélites supérieurs à 95% sont relevés dans les confins de la jetée Mustapha (zone protégée et calme favorisant le dépôt des suspensions).

Les valeurs en lutites montrent un gradient décroissant de la jetée Mustapha vers l'intérieur des trois darses.

5.2.1.2. Bassin Agha

Les teneurs supérieurs à 90% sont relevés le long de la jetée Agha puis elles diminuent progressivement pour atteindre des teneurs inférieures à 70% à l'intérieur des darses.

5.2.1.3. Bassin Vieux Port

Les teneurs en pourcentages des pélites sont très élevés au sein de ce bassin, mais dépassent rarement les 90%, effectivement elles varient entre 21,26 à 93,47%.

Le taux en pélites montre dans un premier temps un gradient décroissant à partir de l'extrémité du môle de Guelma avec plus de 90% et diminue au fur et à mesure que l'on s'approche de la Capitainerie.

Le second gradient est observé à partir du môle El-Djefna où les teneurs en lutites avoisinent les 30% puis augmente en s'approchant de la passe Nord.

Les fortes teneurs sont localisées au niveau de la jetée et les teneurs intermédiaires (70 et 80%) sont les plus fréquentes et occupent l'ensemble de la surface des darses.

Sur l'ensemble des sédiments superficiels du Port d'Alger (Fig.17), les teneurs en silts grossiers varient de 12 à 35%; tandis que les teneurs en silts fins varient de 34 à 47%.

La fraction pélitique montre des teneurs en colloïdes ($\emptyset < 2\mu\text{m}$) non négligeables.

En ce qui concerne la fraction sableuse, elle est constituée essentiellement de sables fins.

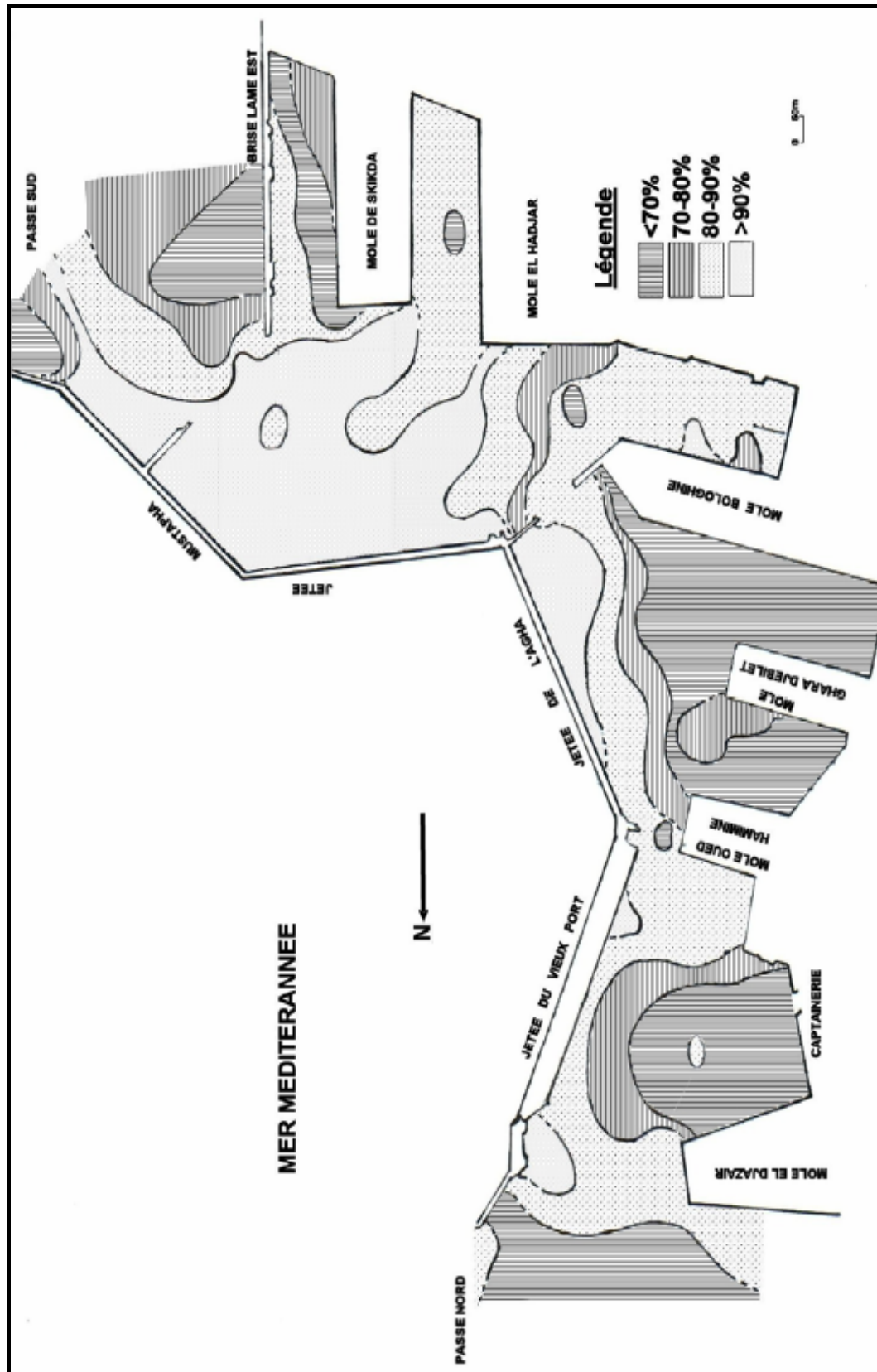


Figure 16: Carte de répartition des lutites dans les dépôts superficiels du Port d'Alger (Ben Aissa et al 2006)

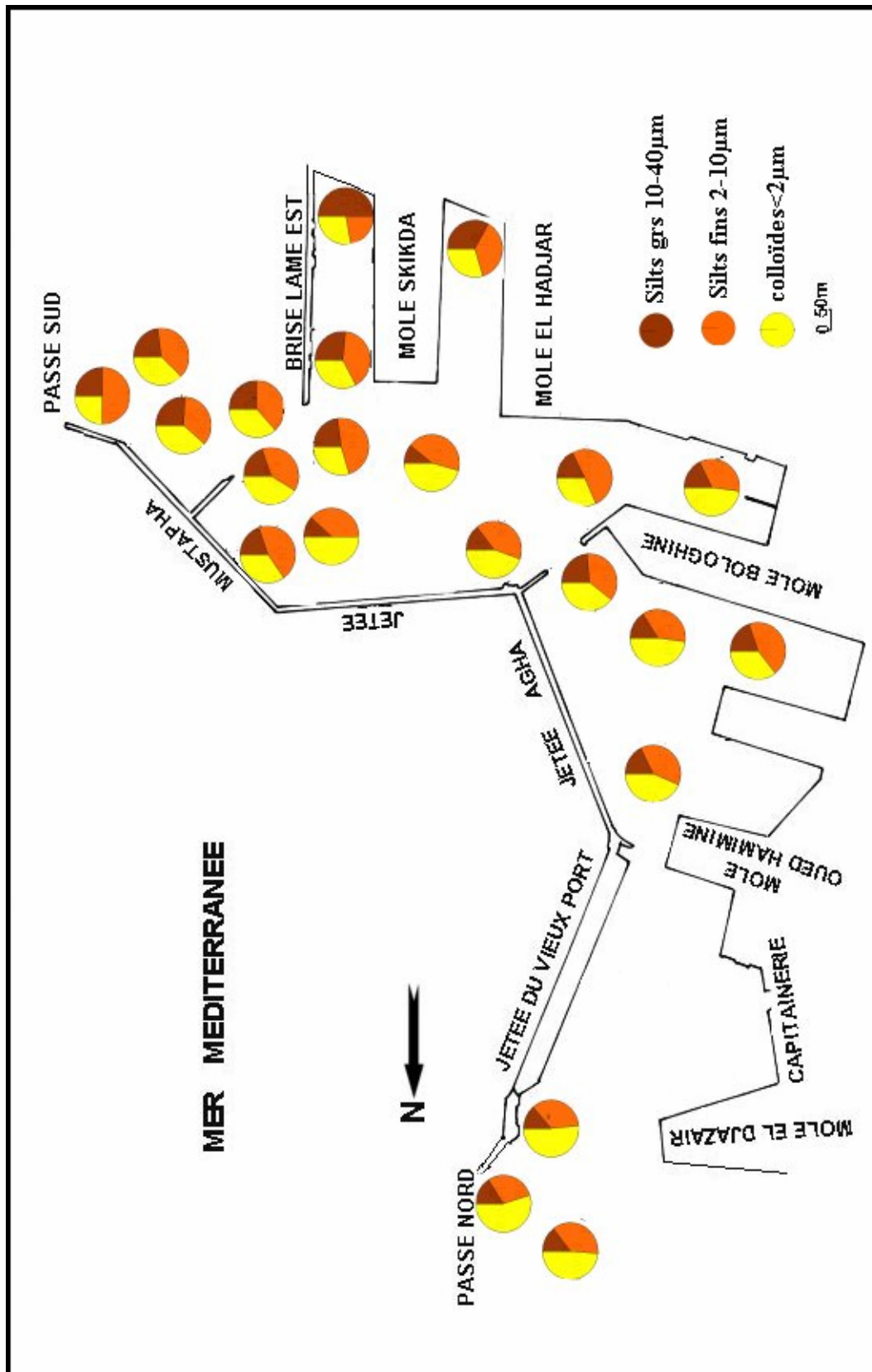


Figure 17: Carte de répartition des différentes classes granulométriques de la fraction péltique dans les dépôts superficiels du Port d'Alger (Ben Aissa et al, 2006)



CHAPITRE III

Matériels et Méthodes

1. Campagne d'échantillonnage et travaux à bord

Pour l'analyse de certains radioéléments d'intérêt et pour essayer d'évaluer la vitesse de sédimentation dans le Port d'Alger, nous avons procédé au prélèvement de sédiments à l'aide d'un carottier.

La mission en mer menée conjointement par le CRNA et l'ISMAL s'est déroulée le 02 Juillet 2008 à bord du bateau « Baba Arroudj » de l'ISMAL.

Le carottier utilisé est un carottier tube de type « Corer-Coreschneider » de 01m de longueur et de 8,5 cm de diamètre. La longueur des carottes obtenues atteignait parfois 40 cm.

Ces carottes sont réparties sur les trois bassins portuaires ; le bassin Mustapha, le bassin de l'Agha, et le bassin du Vieux port.

Le positionnement des stations a été faite à l'aide du GPS et la profondeur a été déterminée par un Echosondeur.

Tableau III : Localisation géographique des carottes prélevées

Bassin	Carotte	Positionnement	Profondeur (m)
Mustapha	C ₁	36° 45,174 N 03° 04,372 E	13,4
Agha	C ₂	36° 66,118 N 03° 04,002 E	11,1
Vieux Port	C ₃	36° 46,380 N 03° 03,976 E	13,6

2. Travaux réalisés au laboratoire

Les trois carottes sont découpées en « tranches » de 3 cm d'épaisseur, chaque aliquote est ensuite séchée à l'étuve à une température de 60°C pendant 2 jours, pesé, broyé à l'aide d'un mortier en agate pour homogénéiser le sédiment et le rendre sous forme de poudre ; 100 g de chaque aliquote ainsi préparé sont conditionnés dans une boîte étanche pour un comptage de 24h à 96h par spectrométrie gamma.

Pour notre étude, nous avons choisi la carotte prélevée au niveau du bassin Mustapha pour l'analyse en spectrométrie gamma, au moyen d'un détecteur au germanium hyper pur (GeHP) d'efficacité relative de 23% et de résolution de 1,8 keV au deuxième pic du ^{60}Co à l'énergie de 1332 keV.

Un analyseur multicanaux (4096 canaux), avec un logiciel de traitement et d'analyse des spectres (Génie-PC) a été utilisé pour le dépouillement et l'évaluation des spectres.

Le rendement de détection du système, pour les échantillons analysés, a été déterminé en utilisant une source standard ^{152}Eu de l'AIEA, d'activité 11655 Bq

2.1. Calcul du rendement de détection

Le rendement de détection, dans nos conditions de travail (boite de 100 cc) a été déterminé en utilisant un matériau de référence de l'AIEA dont la densité est voisine de celle de l'échantillon analysé.

Le rendement de détection a été déterminé pour chaque pic d'énergie d'intérêt, particulièrement le Cs-137, comme le montre le tableau ci-dessous.

La valeur du rendement a été déterminée à partir de l'équation ci-dessous pour la géométrie considérée :

$$Eff = Exp \left[0,12399 LnE^3 - 2,2881 LnE^2 + 13,1777 LnE^1 - 23,124 \right] \quad (11)$$

	Cs-137
Energie (keV)	661,17
Intensité (%)	85,1
Rendement de détection (%)	1,009 ± 0,02

Tableau IV : Rendement de détection pour le Cs-137 (Boite de 100 cc)

2.2. Calcul de la limite de détection

Pour qu'un élément soit détecté, il faut que l'aire du pic photoélectrique correspondant soit plus importante que la fluctuation située sous le pic (bruit de fond).

La limite de détection est calculée à partir du pic correspondant à chaque élément dans les échantillons.

$$L_D = 4,66 \sqrt{N_{BF}} / \varepsilon . I . t . m \quad (12)$$

m est la masse de l'échantillon à analyser

Un comptage du bruit de fond sur trois (03) jours (sans échantillon) donne une activité de 43 Cps pour le pic du Cs-137. De cette valeur, nous avons déterminé la limite de détection de la chaîne de comptage pour chaque échantillon analysé (Tableau : V).

Tableau V : Valeurs de la limite de détection le long de la carotte

Couche	Limite de détection (10^{-3} Bq/kg.)
C1-1	1,37
C1-2	1,37
C1-3	1,03
C1-4	1,03
C1-5	1,11
C1-6	1,38
C1-7	1,03
C1-8	1,06

2.3. Calcul d'activité

L'activité et son erreur en Bq/kg à la date de comptage sont calculées à l'aide de l'expression (9) et (10) données dans le chapitre synthèse bibliographique.

2.4. Evaluation de la vitesse de sédimentation

Pour distinguer un horizon ancien d'un autre plus récent, il faut soit y reconnaître un vieillissement (information *continue* dans le temps), soit y détecter la présence d'un marqueur qui a disparu (information événementielle).

L'analyse par spectrométrie gamma de quelques dizaines de grammes de sédiments des horizons successifs d'une carotte nous permet ces deux approches.

Pour évaluer les intervalles de temps (information événementielle), on dispose des retombées de Cs-137 des essais thermonucléaires, dont on connaît très bien le calendrier, entre 1954 et 1970 avec un pic en 1963 et aussi de l'apport par l'accident de Tchernobyl, en Avril 1986 (Bonté, 2006).

La datation est basée sur la détermination de la distribution verticale du Cs-137 qui permet d'évaluer l'âge des couches d'une carotte de sédiment. La datation par le traceur Cs-137 est limitée aux dépôts dans les sédiments sur une durée comprise entre 40 et 50 ans (Saxena, 2002 in Nouredine, 2007).

La quantité de Cs-137 dans le sédiment et son profil de répartition en fonction de la profondeur dans le sol dépendra donc de l'histoire du site depuis les années 60 (Bonté, 2006).

La distance au niveau du profil qui sépare l'un des deux pics de 1963 ou de 1986 et le premier point dans le graphe permet le calcul du taux de sédimentation moyen.



CHAPITRE IV

Résultats

et

Interprétations

Les concentrations du radioélément artificiel Cs-137 dans la carotte de sédiment du bassin Mustapha sont présentées dans le tableau VI. La distribution verticale du Cs-137 est représentée graphiquement en fonction de la profondeur, comme la montre la figure 19.

Le niveau de concentration du Cs-137 en Bq Kg⁻¹ le long de la carotte varie de $3,47 \pm 0,022$ Bq/Kg à $5,54 \pm 0,022$ Bq/Kg, avec une valeur moyenne de $4,62 \pm 0,022$ Bq/Kg.

La concentration du Cs-137 augmente légèrement de la surface des sédiments vers une profondeur de 9cm, en gardant une concentration quasi-constante.

La limite de détection en Bq/Kg varie de $1,03 \cdot 10^{-3}$ à $1,38 \cdot 10^{-3}$, l'efficacité est de l'ordre de 1,009 avec une erreur de 0,02%. Une intensité de détection de l'ordre de 85%.

Tableau VI : Résultat du comptage des échantillons le long de la carotte C1 de sédiment pour l'analyse par spectrométrie gamma du Cs-137 et son activité spécifique

Couche	t (s)	N _{net} (coups)	A (Bq/kg)
C1-1	259200	771	$3,46824 \pm 0,022$
C1-2	259200	887	$3,99005 \pm 0,022$
C1-3	345600	1503	$5,07078 \pm 0,022$
C1-4	345600	1440	$4,85824 \pm 0,022$
C1-5	321157	1526	$5,54022 \pm 0,022$
C1-6	257487	974	$4,41055 \pm 0,022$
C1-7	345600	1254	$4,23071 \pm 0,022$
C1-8	336338	1551	$5,37682 \pm 0,022$

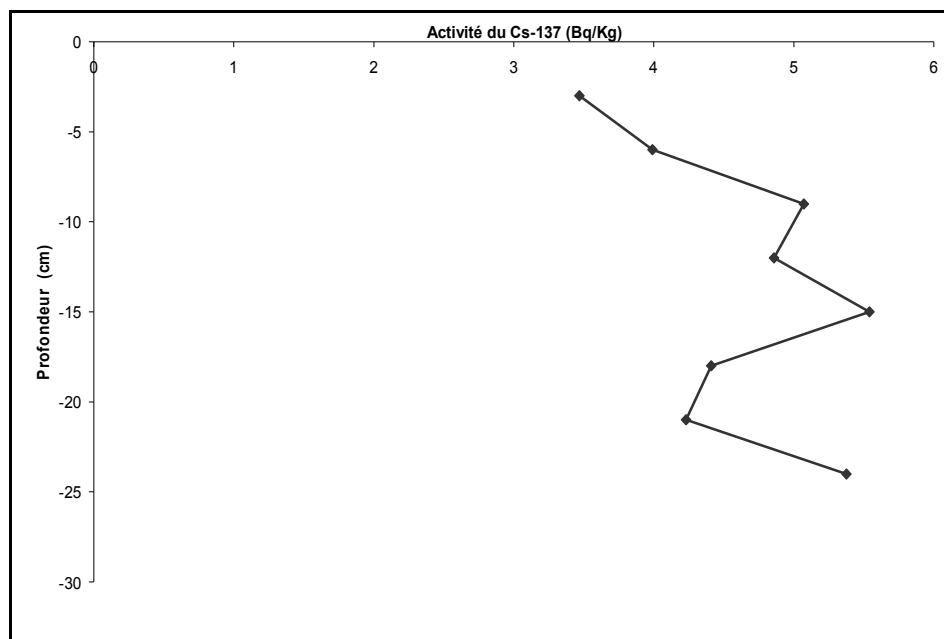


Figure 19: Variation de l'activité du Cs-137 en fonction de la profondeur

Le graphe montre des activités en Cs-137 pratiquement similaires, qui varient très peu sur toute la profondeur de la carotte de sédiment ; Cela peut-être dû à l'hydrodynamisme du secteur d'étude, aux différentes opérations de dragage et aux activités portuaires.

Dans ce cas, les pics résultant de l'accident de Tchernobyl ou des retombées nucléaires ne pourront être clairement identifiés ou peuvent être sous la profondeur de prélèvement (30 cm).

Comparativement à une étude menée au littoral de Ghazaouet (Ouest Algérie) en 1998, dont les points de prélèvement sont à l'intérieure du port.

Tableau VII : Activité du Cs-137 dans le sédiment superficiel du Port de Ghazaouet (Noureddine et al, 1998)

Point de prélèvement	Nature de sédiment	Activité du Cs-137 (Bq/kg)
2	Sable	$0,8 \pm 0,1$
3	Vase	8 ± 2
4	Sable vaseux	$2,2 \pm 0,7$
5	Vase	5 ± 1
6	Vase	6 ± 1
7	Sable fin	$1,7 \pm 0,2$

L'activité du Cs-137 de la carotte du bassin Mustapha montre une valeur moyenne de $4,62 \pm 0,022$ Bq/kg, elle est comparable à celle des sédiments superficiels du port de Ghazaouet et de son littoral immédiat (moyenne de $6,3 \pm 0,5$ Bq/kg).



Conclusion

Conclusion

L'objectif de ce travail était d'évaluer la vitesse de sédimentation dans le port d'Alger. Pour cela, nous avons opté pour la méthode de datation au moyen d'un traceur radioactif artificiel, le Cs-137.

A cet effet, trois carottes ont été prélevées au niveaux des trois bassins du port, la carotte du bassin Mustapha était la seule à être analysée par spectrométrie gamma afin de déterminer l'activité du Cs-137 en fonction de la profondeur dans le sédiment.

L'hydrodynamisme du secteur de port d'Alger s'exprime par un régime de houles de directions prédominantes Ouest et Nord Est.

Une bathymétrie réalisée antérieurement montre que les profondeurs les plus importantes sont comprises entre -15 et -19m, elles sont relevées principalement au niveau de la passe sud (bassin Mustapha) et de la passe nord (bassin du Vieux Port).

Les dépôts sédimentaires du port d'Alger présentent des teneurs en lutites essentiellement supérieures à 50%. Cette situation fait que le port est envasé.

L'activité du Cs-137 dans les sédiments du bassin Mustapha est en moyenne de 4,62 Bq/kg ; Néanmoins l'analyse des différentes couches de la carotte montre une tendance croissante de la couche superficielle vers celles plus profondes.

Les résultats obtenus ne nous ont pas permis d'évaluer la vitesse de sédimentation et cela serait dû au fait que l'analyse par spectrométrie gamma n'a pas identifié les deux pics les plus significatifs au calendrier nucléaire sur la carotte prélevée, pic de 1963 et pic de 1986.

Cet état de fait pourrait être induit par l'hydrodynamisme du secteur, les opérations de dragage et les différentes activités portuaires qui perturbent fortement le processus de sédimentation par strates.



Bibliographie

Bibliographie

Amiard-Triquet C et Camiard J, 1980, *Radiologie des milieux aquatique*, Masson

Arabi M, 1998, *Evaluation de la vitesse de sédimentation par le Cs-137 et les métaux lourds dans une colonne de sédiment au site d'El Kittani (Baie d'Alger)*, mémoire d'ingénieur en génie de l'environnement, université de Blida

Azeggagh S, 1993, *Etude géochimique des sédiments superficiels du port d'Alger*, mémoire d'ingénieur- I.S.T. / U.S.T.H.B.

Banque Européenne d'Investissement, Ministère des Transports, Direction des ports, Algérie, 1994, *Etude de protection contre la pollution des ports et du littoral algériens*, Institut Pour la Qualité des Eaux Danemark, Rapport final

Ben Aissa N, Chibane H et Messar K, 2006, *Etude bathymétrique et sédimentologique du port d'Alger*, mémoire d'ingénieur d'Etat en aménagement du littoral, ISMAL

Benoud D et Mallem M, 1991, *Contribution à l'étude du comportement de quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels de la Baie d'Alger*, mémoire de Technicien Supérieur en Biologie des Pêches, Pollution et Chimie Marine, ISMAL

Benzada K, Dali K, 1995, *Ensablement et dragage du port de Beni Saf : conséquences et site de dépôt*, mémoire d'ingénieur d'Etat en aménagement du littoral, ISMAL

Bernabé G et Bernabé-Quet G, 1997, *Ecologie et aménagement des eaux côtières*, Lavoisier

Bonté P, 2006, Optimisation des systèmes d'irrigation et de la gestion des eaux de surface, « Utilisation des techniques radio-isotopiques pour l'étude des problèmes d'envasement des retenues de barrage », *Rapport de mission d'expert*, IAEA-TCR-03123, projet N° : C3--ALG/5/021 03 01

Chapon J, *Travaux maritimes*

T1 : *le milieu marin, le navire, la navigation, les côtes, les ouvrages extérieurs des ports maritimes*. 5^{ème} Ed. Eyrolles, 1984

T2 : *les ouvrages intérieurs des ports maritimes, dégagement des accès et plans d'eau des ports*, 3^{ème} Ed. Eyrolles, 1975

Dafi K et Boussaboune F, 1997, *Les métaux traces et les radioéléments dans l'herbier à Posidonia océanica (L.Delille) de la région d'Alger*, mémoire d'ingénieur en génie de l'environnement, USTHB

Dergali M.A, 1997, *Reconnaissance du port d'Annaba et quelques aspects de son impact sur l'environnement côtier*, mémoire d'ingénieur d'Etat en aménagement du littoral, ISMAL

Feiss C, Bonté P, Andrieu A et Lefèvre I, 2004, *Transfert de matière des bassins versant côtiers en milieu marin : identification, caractérisation et vitesse. L'exemple de la baie du Marin (Martinique)*. Géomorphologie : relief, processus, environnement, N°1

Gajous D, 1995, *La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire*, Lavoisier

Ghaoui M et Deroukdal Y, 1995, *Evaluation par spectrométrie gamma de la radioactivité naturelle et artificielle dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger*, mémoire d'ingénieur en génie de l'environnement, USTHB

Guilcher A, 1974 *Précis de l'hydrologie marine et continentale*, Paris, Masson

Guillaumont R et Adloff J.P, 2000, *Radiochimie : matière radioactive et rayonnements ionisants*, Rapport sur la Science et la Technologie pour l'Académie des Sciences

Hammadi A, 1996, *Détermination du niveau de référence de la radioactivité autour du réacteur de recherche (NUR)*, mémoire post-graduation spécialisée en génie nucléaire (Radioprotection), CDTN

Hocini N, Mami M et Mami S, 1998, *Etude de la pollution et de l'envasement du port d'Alger, Rapport préliminaire*, CDTN

Hocini N, Mami M et Mami S, 1997, *Etude de la pollution et de l'envasement du port d'Alger, Rapport préliminaire*, CDTN

Holm E, 1994, *Radioecology, lectures in the environmental radioactivity*. World scientific

Kathren R.L, 1984, *Radioactivity in the environmental, sources distribution and surveillance*, Harwood Academic Publishers.

Le Petit G et Granier G, 2002, *Spectrométrie gamma appliqué aux échantillons de l'environnement*, dossier de recommandation pour l'optimisation des mesures, CETAMA, Lavoisier

Leclaire L, 1972, *La sédimentologie holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares*, mémoire du Muséum National d'Histoire Naturelle.

Louchami M, 2006, *Evaluation de la pollution par les hydrocarbures totaux et polyaromatiques : application port d'Alger*, mémoire d'ingénieur en environnement marin, ISMAL

Mami S, 1997, *Rapport de synthèse*, Centre de Développement des Techniques Nucléaires, Division Datation et Hydrologie Isotopique

Mami S, 1998, *Rapport de synthèse*, Centre de Développement des Techniques Nucléaires, Division Datation et Hydrologie Isotopique

Maouche S, 1987, *Mécanismes hydro-sédimentaires en baie d'Alger, approche sédimentologie, géochimie et traitements statistiques*, Thèse de doctorat 3^{ème} cycle de l'université de Perpignan, France

Marot F, 1998, *Caractérisation et traitement des sédiments de dragage contenant des polluants métalliques*, document du BRGM 278

MILLOT C, 1985, *Some features of the Algerian current*, Journal géophysique. Res 90.

Miossec A, 1998, *Les littoraux entre nature et aménagement*, SEDES, Coll. Campus géographique

Mohamed Sahnoun N et Rebba A, 1993, *Contribution à l'étude de l'aménagement d'un port mixte à Rais Hamidou*, mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral, ISMAL

Mokrani D, 1998, *Aménagement du port de Bou Haroun : contribution à l'étude de l'envasement et de dragage*, mémoire d'ingénieur d'Etat en aménagement du littoral, ISMAL

Noureddine A, 2007, *Distribution de la radioactivité artificielle, Cs-137, Am-241, et isotopes du Plutonium, et de la radioactivité naturelle, Pb-210, dans des colonnes d'eau et des carottes de sédiments le long du littoral algérien*, Thèse de doctorat en physique nucléaire, USTHB

Noureddine A, Baggoura B, Hocini N et Boulahdid M, 1998, *Uptake of radioactivity by marine surface sediments collected in Ghazaouet, West coast of Algeria*, Pergamon, PII: S0969-8043 (97) 10117-8, Appl.Radial.Isot.Vol.49, No. 12, pp. 1745-1748

Paakola O, 1989, *Assessing environmental radioactivity, international symposium*, Vienna

Paskoff R, 1993, *Côtes en danger*, Coll. Pratique de la Géographie, Masson

Paskoff R, 2003, *Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution*, Coll. Géographie, Armand Colin

Rabhi K et Arkab M, 2004, *Etude de l'envasement et de la pollution de la retenue de Zéralda*, mémoire d'ingénieur d'Etat en aménagement du littoral, ISMAL

Rebzani-Zahaf C, 1990, *Les peuplements macro benthiques du port d'Alger ; Evolution spatio-temporelle, impact de la pollution*, Thèse magister- I.S.N. / U.S.T.H.B.

Selmani S et Taoutaou S, 1995, *Synthèse hydro-sédimentaire de la baie d'Alger, aménagement et protection du littoral*, mémoire d'Ingénieur d'état en géologie marine- I.S.T. /U.S.T.H.B.

Internet

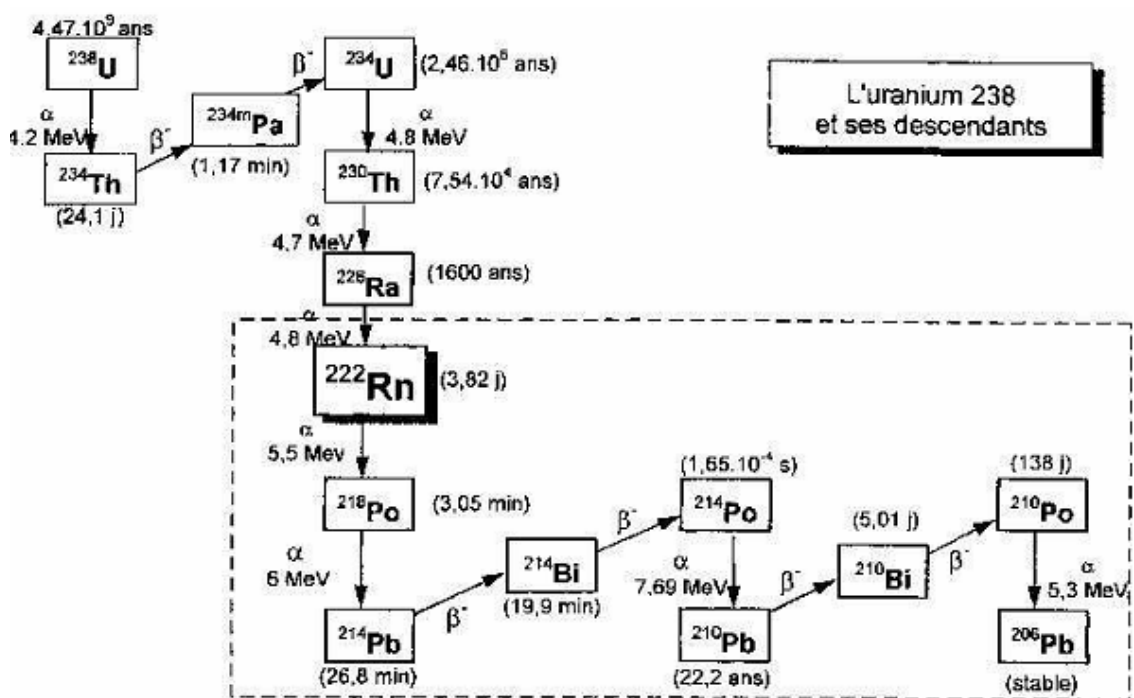
Entreprise Portuaire du port d'Alger
www.epal.dz



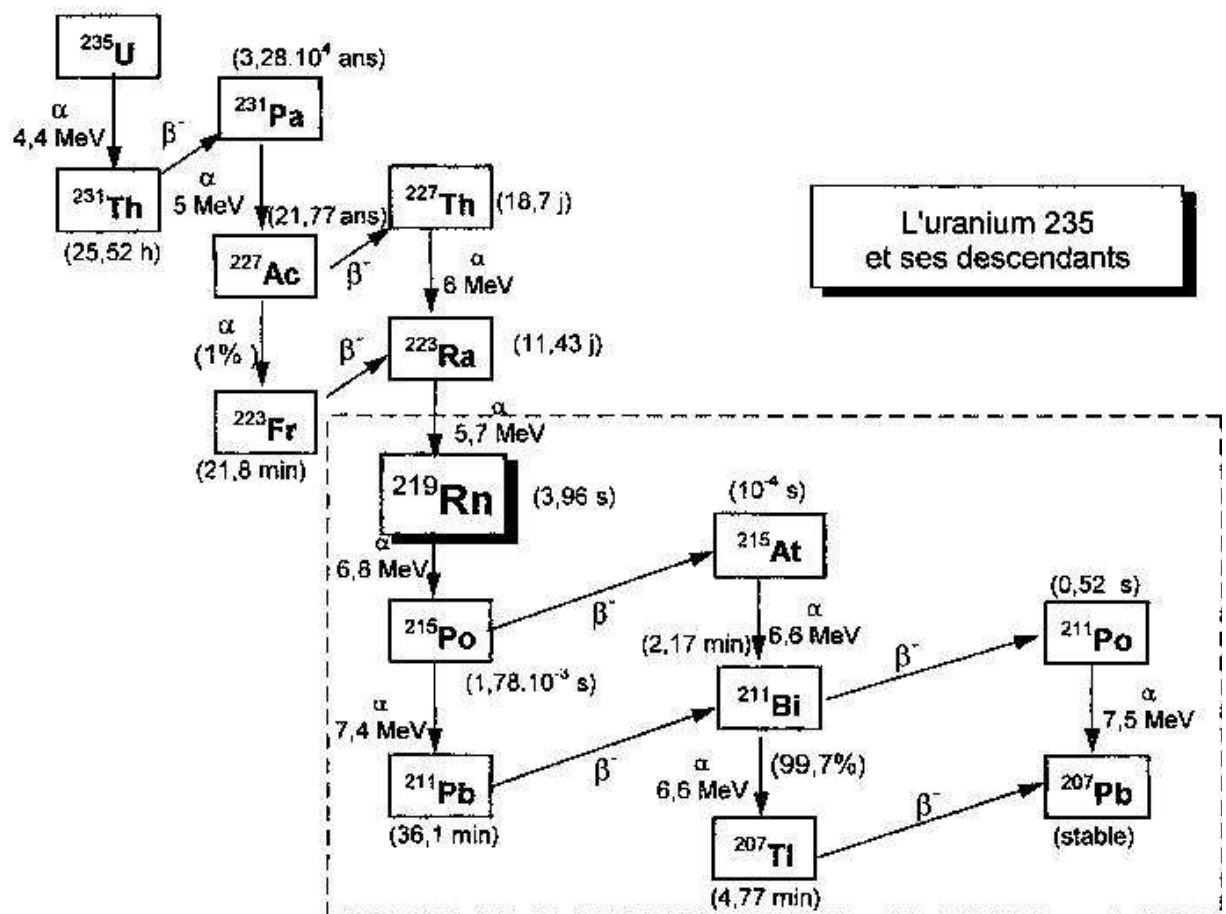
Annexes

Annexe A : Chaînes de désintégration des trois familles radioactives naturelles

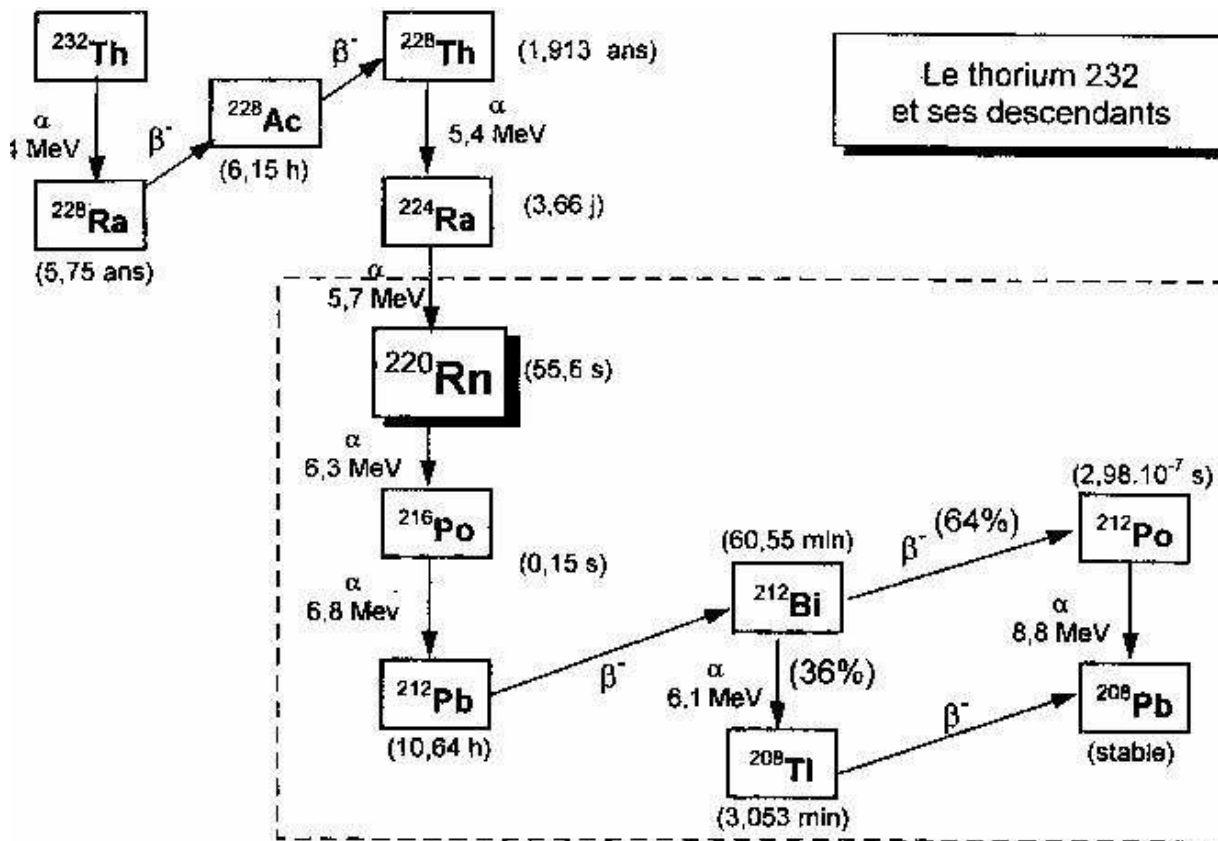
A1 : Chaîne de décroissance de l'Uranium 238



A2 : chaîne de désintégration de l'Uranium 235



A3 : Chaîne de désintégration du Thorium 232



Annexe B : Principaux radionucléides artificiels (Kathren, 1984)

Produits de fissions		Produits d'activations		Transuraniens	
Radionucléide	Période	Radionucléide	Période	Radionucléide	Période
Sr-90	28,6 ans	Co-60	5,3 ans	Pu-238	87,8 ans
Cs-137	30,2 ans	Zn-65	244 j	Pu-240	6537 ans
Sr-89	50,5 j	Cr-51	28 j	Pu-241	14,9 ans
Y-91	58,8 j	Mn-54	312 j	Am-241	433 ans
Zr-95	64 j	Fe-55	2,7 ans	Am-242	163 j
Nb-95	35,2 j	Fe-59	45 j	Cm-244	18 ans
Tc-99	$2,1 \cdot 10^9$ ans	Co-58	71 j		
Ru-103	39,4 j	Ni-63	100 ans		
Ru-106	368 j	Ag-110	250 j		
Sb-125	2,77 ans	Cs-134	2,06 ans		
I-131	8,04 j				
I-129	$1,57 \cdot 10^7$ ans				
Cs-136	13 j				
Br-140	12,8 j				
Ce-141	32,5 j				
Ce-144	285 j				
Eu-154	8,5 ans				
Eu-155	4,96 ans				

Annexe C :**Carotte n° 01**

Localisation : port d'Alger ; bassin Mustapha

Latitude : 36° 45,174 N

Longitude : 03° 04,372 E

Profondeur : 13,4 m

Date de prélèvement : 02 Juillet 2008

Longueur de la carotte : 30 cm

Diamètre : 8,5 cm

Tableau C.1 : Poids des échantillons de la carotte n° 01

Profondeur dans la carotte (cm)	Identifiant	Poids de l'échantillon sec (g)
0-3	C1-1	123,17
3-6	C1-2	115,59
6-9	C1-3	114,73
9-12	C1-4	102,51
12-15	C1-5	108,93
15-18	C1-6	112,74
18-21	C1-7	104,18
21-24	C1-8	128,41
24-27	C1-9	106,95
27-30	C1-10	102,87

Carotte n° 02

Localisation : port d'Alger ; bassin l'Agha

Latitude : 36° 46,062 N

Longitude : 03° 03,926 E

Profondeur : 11,1 m

Date de prélèvement : 02 Juillet 2008

Longueur de la carotte : 30 cm

Diamètre : 8,5 cm

Tableau C.2 : Poids des échantillons de la carotte n° 02

Profondeur dans la carotte (cm)	Identifiant	Poids de l'échantillon sec (g)
0-3	C2-1	87,71
3-6	C2-2	117,32
6-9	C2-3	111,58
9-12	C2-4	103,80
12-15	C2-5	115,51
15-18	C2-6	111,09
18-21	C2-7	107,51
21-24	C2-8	111,31
24-27	C2-9	105,64
27-30	C2-10	105,51

Carotte n° 03

Localisation : port d'Alger ; bassin du Vieux Port

Latitude : 36° 46,380 N

Longitude : 03° 03,976 E

Profondeur : 13,6 m

Date de prélèvement : 02 Juillet 2008

Longueur de la carotte : 30 cm

Diamètre : 8,5 cm

Tableau C.3 : Poids des échantillons de la carotte n° 03

Profondeur dans la carotte (cm)	Identifiant	Poids de l'échantillon sec (g)
0-3	C3-1	102,97
3-6	C3-2	109,93
6-9	C3-3	111,80
9-12	C3-4	109,64
12-15	C3-5	104,42
15-18	C3-6	97,80
18-21	C3-7	98,37
21-24	C3-8	106,61
24-27	C3-9	111,67
27-30	C3-10	108,23

Annexe D :

Tableau D.1 : Valeurs des efficacités et leurs erreurs relatives aux énergies d'une source d'Eu-152

E (keV)	I (%)	N (Cps)	ΔI (%)	ε (%)	$\Delta\varepsilon$ (%)
121,8	28,38	173672	0,50	5,50	$11,00.10^{-2}$
344,2	26,58	64588	0,40	2,18	$4,12.10^{-2}$
444,0	3,08	5105	0,05	1,49	$2,41.10^{-2}$
778,9	12,96	13201	0,22	0,92	$1,56.10^{-2}$
964,0	14,49	10963	0,23	0,68	$1,08.10^{-2}$
1085,0	9,92	6044	0,25	0,55	$1,39.10^{-2}$
1112,8	13,56	8927	0,03	0,59	$0,13.10^{-2}$
1408,0	20,85	10870	0,29	0,47	$0,65.10^{-2}$

Annexe E :



E.1. Le Carottier Corer-Coreschneider



E.2. Le support de découpage

