

Santé environnement

Présence de plomb et d'arsenic sur le littoral sud de Marseille : une étude de santé

Abréviations	2	6. Caractérisation du risque	25
Résumé	4	6.1 Risque sanitaire lié à l'ingestion de plomb	25
1. Introduction	6	6.1.1 Fréquentation des sites pollués	25
1.1 Contexte	6	6.1.2 Consommation de produits de la mer	26
1.2 Potentiel d'exposition et risques sanitaires associés	7	6.2 Risque sanitaire lié à l'arsenic inorganique	27
1.2.1 Zone d'étude et population concernée	7	6.2.1 Fréquentation des sites pollués	27
1.2.2 Pollution de l'environnement	8	6.2.2 Consommation de produits de la mer	27
1.2.3 Risques sanitaires	10	7. Discussion des résultats	28
1.3 Utilité d'une étude de santé publique	11	7.1 Facteurs de surestimation	28
1.4 Objectifs	11	7.2 Facteurs de sous-estimation	29
2. Méthode	11	7.3 Facteurs d'incertitude	29
3. Identification des dangers	12	7.4 Conséquence sur l'impact sanitaire	30
3.1 Sources et modalités d'exposition au plomb et à l'arsenic	12	8. Conclusion et recommandations	30
3.1.1 L'arsenic	12	Références bibliographiques	32
3.1.2 Le plomb	12	Annexes	34
3.2 Effets sur la santé	13	Annexe 1. Teneurs en métaux lourds des sols des sites de l'Escalette et de Saména	34
3.2.1 Effets de l'arsenic	13	Annexe 2. Teneurs en arsenic et plomb dans les moules et oursins	35
3.2.2 Effets du plomb	14	Annexe 3. Composition du groupe de travail et calendrier des réunions	36
4. Relations doses-réponses	17	Annexe 4. Evolution des doses hebdomadaires de plomb ingéré en fonction des scénarios d'exposition	37
4.1 Effets aigus	17	Annexe 5. Evolution des plombémies attendues suivant les scénarios d'exposition	39
4.2 Effets chroniques	17	Annexe 6. Détail des calculs de la dose journalière d'exposition à l'arsenic inorganique par ingestion de moules et d'oursins	41
4.2.1 Arsenic inorganique	17		
4.2.2 Plomb inorganique	18		
4.3 Choix des valeurs toxicologiques de référence	19		
5. Estimation des expositions	19		
5.1 Scénarios d'exposition	19		
5.1.1 Résidence sur le site de l'Escalette	19		
5.1.2 Fréquentation de la plage de Saména	20		
5.1.3 Consommation d'organismes marins	20		
5.2 Calcul des doses d'exposition	21		
5.2.1 Principe de calcul	21		
5.2.2 Données environnementales	21		
5.2.3 Données physiologiques	23		
5.2.4 Résultats	23		

Présence de plomb et d'arsenic sur le littoral sud de Marseille : une étude de santé

Rédacteur

Jean-Luc Lasalle Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud

Institutions et personnes ayant contribué aux investigations

Sophie Gallotti Agence française de sécurité sanitaire des aliments

Florian Franke Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud
Jean-Luc Lasalle
Caroline Six

Jean-Christophe Masse Conseil général des Bouches-du-Rhône

Bernard Miconnet Direction départementale des affaires maritimes des Bouches-du-Rhône
Pierre Motta

Muriel Andrieu Direction départementale des affaires sanitaires et sociales des Bouches-du-Rhône
Max Garans
Christine Garcin

Fabien Renassia Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement
Brigitte Bessou de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur
Gilbert Sandon

Olivier Arnal Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

Côme Daniau Institut de veille sanitaire
Frédéric Dor
Pascal Empereur-Bissonnet

Philippe Baraize Service communal d'hygiène et de santé de la ville de Marseille
Rémi Ménager

Marie-Christine Bertrand Service maritime des Bouches-du-Rhône
Fabrice Garcia

Remerciements

Les auteurs remercient de leur collaboration : la Direction générale des services financiers de la ville de Marseille (Direction central d'enquêtes), le Centre interrégional de toxicovigilance, la Direction générale des interventions sociales et sanitaires du Conseil général des Bouches-du-Rhône (protection maternelle et infantile) et les étudiants de l'IUP Environnement de l'Université de Provence.

Abréviations

As	Symbole chimique de l'arsenic
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BET	Budget espace temps
Cd	Symbole chimique du cadmium
Circ	Centre international de recherche sur le cancer (OMS)
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DJA	Dose journalière admissible. Il s'agit de la quantité d'une substance qui peut être ingérée quotidiennement sur une durée de vie entière sans risque appréciable.
DJE	Dose journalière d'exposition
DJT	Dose journalière tolérable. Il s'agit de la quantité d'une substance qui peut être ingérée quotidiennement sur une durée de vie entière sans risque appréciable
Drire	Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement
EDR	Evaluation détaillée des risques
ERI	Excès de risque individuel
ERU	Excès de risque unitaire
ESR	Evaluation simplifiée des risques
Fe	Symbole chimique du fer
Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
Inserm	Institut national de la santé et de la recherche médicale
InVS	Institut de veille sanitaire
Iris	Ilot regroupé pour l'information statistique (maillage des communes réalisé par l'Insee)
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
JECFA	Joint FAO/OMS Expert Comitee on Food Additives
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level
MRL	Minimum Risk Level. Il s'agit de la quantité d'une substance qui peut être ingérée quotidiennement sur une durée de vie entière, sans risque appréciable (équivalent de la DJT).
MS	Matière sèche
Ni	Symbole chimique du nickel
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
OMS	Organisation mondiale de la santé
Paca	Provence-Alpes-Côte d'Azur
Pb	Symbole chimique du plomb
PbS	Plombémie (concentration de plomb mesurée dans le sang)
PM10	Particules en suspension d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
QD	Quotient de danger
QI	Quotient intellectuel

RfD	Reference Dose. Il s'agit de la quantité d'une substance qui peut être ingérée quotidiennement sur une durée de vie entière, sans risque appréciable (équivalent de la DJT).
RINBIO	Réseau intégrateur biologique
RIVM	Institut national de la santé publique et de la protection de l'environnement (Pays-Bas)
RNO	Réseau national d'observation de la qualité du milieu marin
TD05	Tumorigenic Dose (5%). Il s'agit de la dose journalière responsable d'une augmentation de 5 % de l'incidence des cancers
TDI	Tolerable Daily Intake. Il s'agit de la quantité d'une substance qui peut être ingérée quotidiennement sur une durée de vie entière, sans risque appréciable (équivalent de la DJT).
US-EPA	Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis
US-FDA	United States Food and Drug Administration
VCI	Valeur de constat d'impact
VDSS	Valeur de définition de source-sol
VTR	Valeur toxicologique de référence

Résumé

CONTEXTE

Le littoral sud de Marseille a été le siège d'une activité industrielle importante, au cours du XIX^e siècle, qui a occasionné des pollutions des sols et du milieu marin.

Les études environnementales déjà mises en place et les analyses réalisées en milieu marin indiquaient que la présence de métaux lourds sur le littoral sud de Marseille était manifeste. Les évaluations détaillées des risques, qui avaient été réalisées sur quelques sites, indiquaient qu'un risque sanitaire pouvait être attendu pour la population. Si ces résultats permettaient d'avoir des éléments favorisant la prise de décisions relatives à la prise en charge de la pollution des sites, ces derniers ne permettaient pas d'appréhender la possibilité que certains événements sanitaires viennent à se manifester.

Le 15 juillet 2004, le préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur saisissait l'Institut de veille sanitaire (InVS) pour la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires. Cette étude était confiée à la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) Sud.

L'objectif de cette étude de santé publique était d'apporter les éléments décisionnels nécessaires, d'un point de vue sanitaire, à la prise en charge environnementale et sanitaire de la population.

MÉTHODES

Une évaluation des risques sanitaires a été menée à partir des données existantes pour les deux polluants retrouvés en plus grande quantité dans l'environnement et dont les impacts sur la santé sont bien décrits dans la littérature : le plomb et l'arsenic.

L'évaluation a été conduite sur les sites les plus fréquentés de la zone polluée qui s'étend du port de La Madrague à la calanque de Callelongue, c'est-à-dire le site de l'Escalette, qui est une zone de résidence, et la plage de Saména, ainsi que sur la consommation de produits de la mer (moules et oursins) pêchés sur cette zone du littoral.

RÉSULTATS

Les résultats de l'évaluation ont montré :

- un dépassement possible du seuil de 100 µg/l de la plombémie estimée :
 - pour les enfants de moins de 2 ans résidant sur le site de l'Escalette, quelles que soient les hypothèses d'exposition. Le seuil de 250 µg/l à partir duquel les enfants doivent bénéficier d'une évaluation de leur intoxication en milieu spécialisé est même dépassé pour les hypothèses majorantes ;
 - pour les enfants de 0 à 6 ans fréquentant la plage de Saména, quel que soit le scénario retenu. Le dépassement de la valeur de 250 µg/l est obtenu pour les scénarios défavorables ;
 - pour les enfants de 0 à 6 ans consommant des oursins. La valeur de 250 µg/l est atteinte pour une consommation d'oursins provenant de la zone nord de l'étude ;
 - pour les femmes enceintes consommant des oursins provenant de la zone nord de l'étude ;
- les quotients de danger, associés au risque non cancérigène de l'arsenic inorganique, sont supérieurs à la valeur repère de 1 pour la plupart des scénarios concernant les expositions des enfants aux sols pollués ;
- les excès de risque unitaire, concernant le risque cancérigène associé à l'arsenic inorganique, dépassent le seuil décisionnel classiquement admis en matière de sites et sols pollués (10⁻⁵), pour tous les scénarios d'exposition aux sols pollués envisagés, adultes et enfants compris ;
- la consommation de moules par les enfants et les adultes implique également un dépassement du seuil acceptable de risque cancérigène.

CONCLUSIONS

Les principales conclusions de l'évaluation des risques indiquent que les jeunes enfants qui résident sur le site de l'Escalette ou fréquentent la plage de Saména encourent un risque sanitaire principalement dû à l'ingestion de terre ou de sable pollué. Les adultes et les enfants sont concernés par la consommation des oursins et des moules contaminés pêchés localement.

RECOMMANDATIONS

Ces résultats ont amené l'InVS à proposer des actions de santé publique destinées à une prise en charge médicale des populations et une réduction de leurs expositions.

Au plan sanitaire :

- la mise en place d'un dépistage du saturnisme infantile, au minimum sur la zone de l'Escalette (risque lié au plomb) ;
- la mise en place d'une information du corps médical local, relais auprès des populations concernées.

Au plan environnemental :

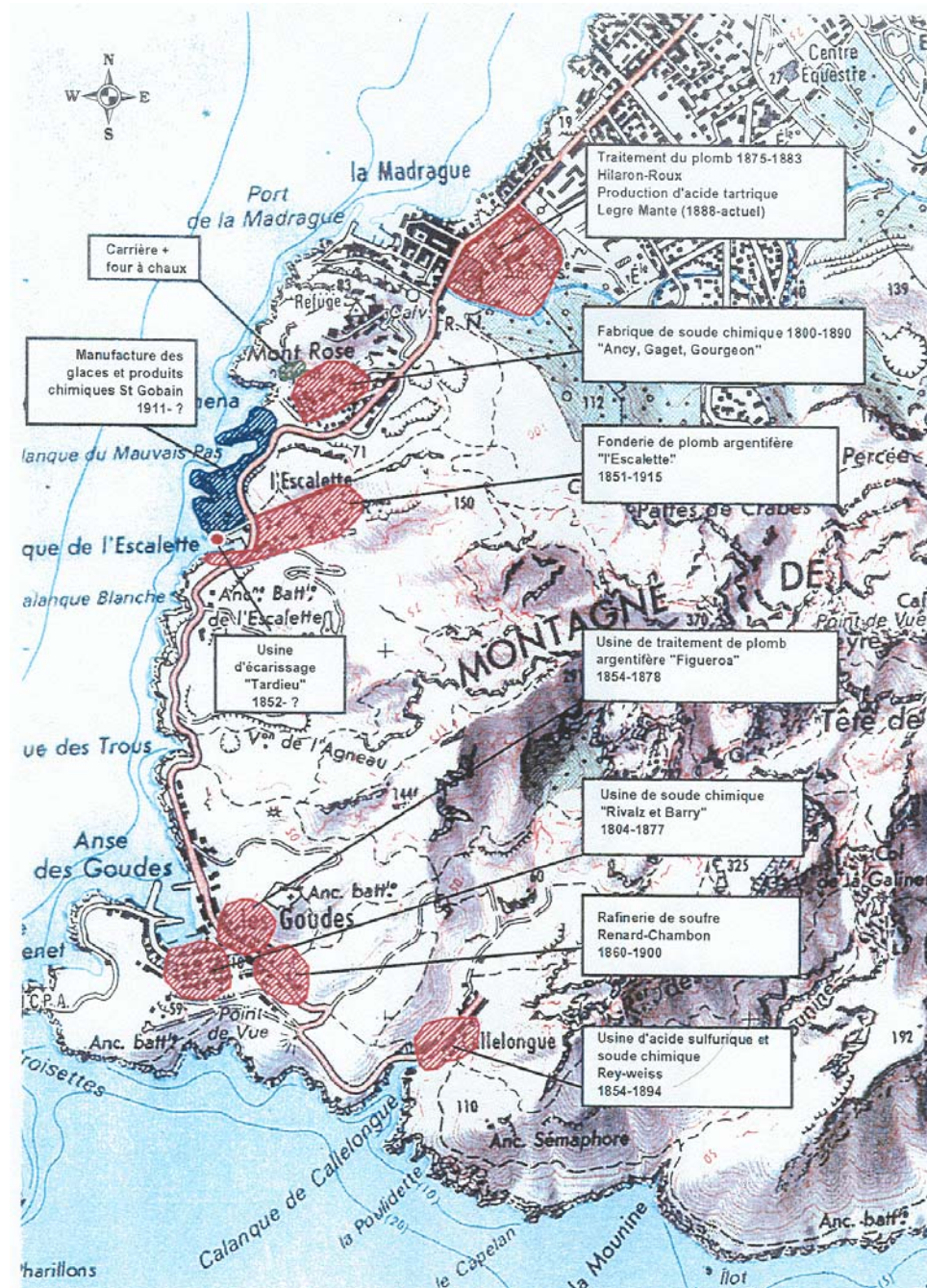
- la réhabilitation des sites pollués (y compris ceux qui n'ont pas été inclus dans l'évaluation des risques sanitaires, mais qui peuvent toutefois constituer une source de contamination) avec une priorité par rapport aux sites qui sont habités et fréquentés par des usagers ;
- la fermeture de la plage de Saména, s'il n'est pas possible de la dépolluer avant l'été 2005 ;
- l'interdiction de pêche et de consommation des oursins, la pêche aux moules étant déjà interdite sur cette zone de la côte.

1. Introduction

1.1 CONTEXTE

Au cours du XIX^e siècle, le littoral sud de Marseille, du port de La Madrague à la calanque de Callelongue, a été le siège d'une dizaine d'exploitations industrielles : carrière, usines de traitement du plomb, usines de production d'acides et de soude... (figure 1). Ces activités ont laissé des traces de pollution sur la côte, et des sous-produits ont été utilisés pour le comblement de carrière et le soutènement de la route littorale de La Madrague à Callelongue [1].

Figure 1. Carte de situation de la zone d'étude



Source : ANTEA [1]

Dans le cadre de la politique nationale de réhabilitation des sites et sols pollués, certains sites de cette zone ont fait l'objet d'évaluations simplifiées des risques (ESR) et d'évaluations détaillées des risques (EDR) qui ont montré des niveaux de contamination en métaux lourds importants. Certains métaux (plomb et arsenic) ont également été retrouvés dans les sédiments marins, les moules et les oursins.

Par lettre en date du 15 juillet 2004, le préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Préfet des Bouches-du-Rhône, saisissait l'Institut de veille sanitaire (InVS), afin qu'il mette en place les moyens nécessaires pour faire réaliser une évaluation des risques sanitaires concernant les friches industrielles du littoral sud de Marseille.

En réponse à ce courrier, l'InVS faisait savoir au préfet de Région, le 26 août 2004, qu'il décidait de prendre en charge cette évaluation des risques sanitaires dont il confiait la réalisation à la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) Sud.

1.2 POTENTIEL D'EXPOSITION ET RISQUES SANITAIRES ASSOCIÉS

1.2.1. Zone d'étude et population concernée

La zone d'étude correspond à la zone côtière située au sud de Marseille depuis la Madrague jusqu'à Callelongue (figure 1). Cette zone est incluse dans deux niveaux Iris de l'Insee : Les Goudes (au sud de la zone, à partir de la friche industrielle de l'Escalette comprise) et La Verrerie (au nord de la zone, à partir de la friche industrielle de l'Escalette non comprise).

Au recensement de 1999, la population de cette zone comptait 2 386 personnes dont 82 % dans l'Iris de la Verrerie. La répartition par sexe était de 47,8 % d'hommes et 52,2 % de femmes (tableau 1).

Tableau 1. Description de la population de la zone d'étude, Iris Les Goudes – La Verrerie, 1999.

Zone	Total	Hommes	Femmes
Les Goudes	423	212	211
La Verrerie	1 963	929	1 034
Zone globale	2 386	1 141	1 245

Source : Insee 1999

La répartition par classe d'âges quinquennale de la population est représentée dans la figure 2.

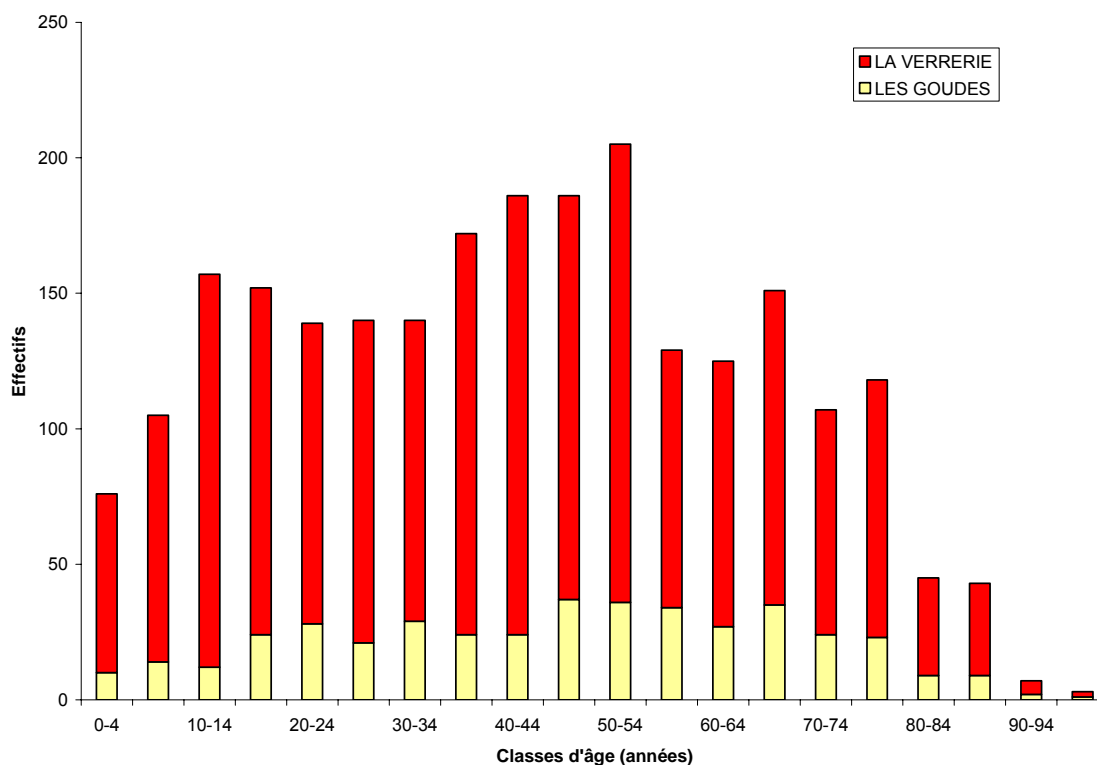
Parmi la population, on dénombrait, en 1999, 92 enfants de moins de 6 ans, dont 87 % dans l'Iris de la Verrerie. Le détail de la distribution par âge de ces enfants se trouve dans le tableau 2.

Tableau 2. Répartition par année d'âges des enfants de moins de 6 ans, Iris Les Goudes - La Verrerie, 1999.

Zone	Total	0 – 1 an	1 – 2 ans	2 – 3 ans	3 – 4 ans	4 – 5 ans	5 – 6 ans
Les Goudes	12	0	3	5	0	2	2
La Verrerie	80	6	18	20	9	13	14
Zone globale	92	6	21	25	9	15	16

Source : Insee 1999

Figure 2. Répartition par classe d'âges de la population de la zone d'étude, Iris Les Goudes - La Verrerie, Insee 1999.



1.2.2. Pollution de l'environnement

Les sources de données relatives à la pollution sont :

- pour les sols : différentes études (ESR et EDR) sur les sites pollués du littoral essentiellement pour le site de l'Escalette [2-6], la plage de Saména [1,7,8], le site de Legré Mante [9-15]. Des campagnes de prélèvements ont également été réalisées par la DIRE Paca, afin d'estimer les niveaux de contamination et les volumes de polluants [16]. Elles doivent être complétées ;
- pour l'air : une campagne de mesure d'Airmaraix sur le site de l'Escalette [17] ;
- pour la partie maritime : des campagnes réalisées par le service maritime des Bouches-du-Rhône, en partie des ESR et EDR [18,19], et des résultats intermédiaires de l'étude des établissements Legré Mante communiqués par la DIRE.

1.2.2.1. Pollution des sols

Les données montrent la présence de nombreux métaux lourds dans les sols : arsenic, plomb, cadmium, baryum, chrome, cuivre, nickel, zinc ...

Les teneurs en métaux varient d'un élément à l'autre, d'un site pollué à l'autre et sont fonction de la profondeur de prélèvement. Sur les sites de l'Escalette et de la plage de Saména, les plus fréquentés par la population, elles peuvent s'élever jusqu'à :

- plusieurs dizaines de milliers de milligrammes de polluants par kilogramme de matières sèches (mg/kg MS) pour le plomb et le zinc ;
- plusieurs milliers de mg/kg MS pour l'arsenic, le baryum et le cuivre ;
- plusieurs dizaines de mg/kg MS pour le cadmium, le chrome et le nickel (annexe 1).

Ces valeurs sont élevées en comparaison des valeurs de constat d'impact (VCI) et valeur de définition de source-sol (VDSS) [20], plus particulièrement pour l'arsenic et le plomb, et témoignent d'une forte contamination des sols (tableau 3).

Aucune contamination des nappes d'eau souterraine n'a été mise en évidence.

Tableau 3. Valeurs de constat d'impact et de définition de source-sol (mg/kg MS)

Polluant	VDSS	VCI sensible	VCI non sensible
Arsenic	19	37	120
Baryum	312	625	3 125
Cadmium	10	20	60
Chrome total	65	130	7 000
Cuivre	95	190	950
Nickel	70	140	900
Plomb	200	400	2 000
Zinc	4 500	9 000	-

Source BRGM, 2002

1.2.2.2. Pollution de l'air

La campagne de mesure de la qualité de l'air, réalisée en juin 2003 par Airmaraix sur le site de l'Escalette [17], concernait les particules PM10 et certains métaux lourds : Fe, As, Pb, Cd et Ni. Les prélèvements se sont déroulés pendant une phase de vent faible à modéré et une phase de vent modéré à fort. Ce travail faisait suite à une première étude réalisée par Airmaraix en décembre - janvier 2001/2002 sur le même site, période pendant laquelle les sols étaient gelés et les données non représentatives pour estimer une exposition chronique.

Les résultats montrent :

- dans la partie inhalable :
 - une teneur significative en PM10 : la moyenne observée est de 47 µg/m³ (supérieure à la moyenne observée sur Marseille et proche de la valeur limite annuelle de qualité fixée à 40 µg/m³) ;
 - une augmentation de ces teneurs avec la force du vent ;
 - l'absence de dépassement des normes en ce qui concerne les concentrations en métaux.
- dans la partie sédimentable :
 - le flux de particules sédimentables est comparable, en certains endroits, à ceux mesurés autour de sites industriels encore en activité. Il est lié à la couverture du sol et à la force du vent ;
 - les teneurs en arsenic et plomb dans les particules sédimentables sont élevées. Elles augmentent avec la force du vent traduisant l'influence de l'envol des particules locales.

1.2.2.3. Pollution du milieu marin

La zone d'étude est actuellement classée en D¹ par arrêté préfectoral du 29 juin 2000 pour les catégories II et III des coquillages, c'est à dire les filtreurs et les filtreurs-fouisseurs (moules, huîtres, palourdes...). Ces coquillages ne peuvent être récoltés ni pour la consommation humaine directe, ni pour la purification, ni pour le reparcage. Elle a été, en revanche, classée en A pour le groupe I des coquillages (gastéropodes, échinodermes, tuniciers...), groupe dont les oursins font partie.

La pêche aux oursins est autorisée, chaque année, du 14 octobre au 16 avril, mais la zone d'étude ne semble pas être un site privilégié pour les pêcheurs professionnels. En revanche, la zone la plus au sud (plage des Goudes) est plus favorable et a fait l'objet d'un repeuplement au cours de l'année 2004 [21].

Une campagne de prélèvements mise en place par le service maritime des Bouches-du-Rhône sur la frange littorale (20 premiers mètres), depuis le port de la Madrague jusqu'à la calanque de Callelongue, a mis en évidence une quantité non négligeable de dépôts industriels. Les concentrations en plomb (99 à 1 189 mg/kg MS) et en arsenic (8,2 à 648 mg/kg MS) des sédiments démontrent l'existence d'une contamination chimique significative. Ces valeurs sont très supérieures au bruit de fond estimé pour le plomb en Méditerranée (30 mg/kg MS) et dépassent les valeurs seuils retenues comme critères d'évaluation écotoxicologique par la convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (convention Ospam), comprises entre 5 et 50 mg/kg MS pour le plomb et entre 1 et 10 mg/kg MS pour l'arsenic, ainsi que les niveaux de qualité relatifs aux rejets de dragage (tableau 4) [22, 23, 24].

¹ Le classement de salubrité comprend quatre catégories (A, B, C ou D), par ordre décroissant de salubrité.

Tableau 4. Niveaux de qualité relatifs au dragage (mg/kg MS)

	Arsenic	Plomb
Niveau 1	25	100
Niveau 2	50	200

Signification des niveaux de qualité :

- en dessous de N1, l'impact de l'immersion de déblais de dragage est jugé négligeable ;
- entre N1 et N2, une investigation complémentaire peut s'avérer nécessaire (mesures complémentaires, étude de sensibilité du milieu) ;
- au-delà de N2, un impact négatif de l'opération est présagé. Une étude spécifique de sensibilité du milieu est nécessaire (test d'écotoxicité, impact prévisible, maillage des prélèvements plus fin) .

Les prélèvements de moules et d'oursins, présents sur le site, permettent de mettre en évidence une contamination importante des organismes (annexe 2). Les teneurs en plomb dans les moules dépassent la valeur moyenne des concentrations observée par le système de surveillance RNO² en Méditerranée en 2003 (les oursins ne sont pas inclus dans cette surveillance). Les teneurs en plomb dans les oursins dépassent largement le seuil de qualité alimentaire de la commission européenne (règlement CE n° 221/2002 du 5 avril 2002) qui s'élève à 1,5 mg/kg humide.

Des moules installées dans des cages, suivant le protocole RINBIO³, montrent également des valeurs en plomb et arsenic supérieures à celles habituellement rencontrées en Méditerranée (1 mg/kg MS pour le plomb et 20 mg/kg MS pour l'arsenic).

1.2.3 – Risques sanitaires

Deux EDR ont été réalisées sur la zone d'étude (sur le site de l'Escalette en 2000 [3] et sur la friche industrielle des établissements Legré-Mante (parcelle A) en 2001 [11]) et permettent d'avoir des éléments relatifs au risque sanitaire. Ces évaluations montrent que les risques calculés peuvent dépasser les seuils considérés comme inacceptables.

- Sur le site de l'Escalette, les résultats de l'EDR, calculés pour le scénario résidentiel, montrent que les éléments pour lesquels le seuil inacceptable est dépassé sont :
 - l'arsenic et le plomb pour les effets non cancérogènes (par ingestion de sols) ;
 - l'arsenic pour les effets cancérogènes (par inhalation et ingestion de terre).

L'évaluation a été effectuée à l'aide d'une modélisation avec le logiciel HESP. Il n'a pas été tenu compte ni des végétaux autoproduits, ni de l'alimentation générale de la population.

- Sur la parcelle A du site des établissements Legré-Mante, les résultats de l'EDR, calculés pour le scénario résidentiel, montrent que les seuils inacceptables sont dépassés pour :
 - l'arsenic, le plomb et l'antimoine pour les effets non cancérogènes ;
 - l'arsenic pour les effets cancérogènes.

Les voies prédominantes d'exposition sont l'ingestion de terre par les enfants et la consommation de végétaux autoproduits pour les adultes et les enfants. Il faut toutefois noter que :

- les concentrations en polluants dans l'atmosphère et dans les végétaux ont été modélisées ;
- l'exposition de la population aux polluants par l'alimentation générale n'a pas été prise en compte.

² Le Réseau national d'observation de la qualité du milieu marin (RNO), créé en 1974 et coordonné par l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), a pour objectif l'évaluation des niveaux et des tendances des contaminants chimiques et des paramètres généraux de la qualité du milieu, ainsi que la surveillance des effets biologiques des contaminants.

³ RINBIO est un réseau de surveillance développé par l'Ifremer en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) depuis 1996. L'objectif est d'évaluer les niveaux de contamination chimique et radiologique des eaux en se servant des moules comme bioindicateurs d'exposition (<http://www.ifremer.fr/envlit/region/reg10paca/rlm.htm>).

1.3 UTILITÉ D'UNE ÉTUDE DE SANTÉ PUBLIQUE

Les études environnementales déjà mises en place, dans le cadre des ESR pour les sites terrestres pollués [1, 2, 4-10, 12-17] et les analyses réalisées en milieu marin [21-24] indiquent que la présence de métaux lourds sur le littoral sud de Marseille est manifeste. Les EDR qui ont été réalisées sur quelques sites indiquent qu'un risque sanitaire peut être attendu [3,11].

Cependant, ces premières études restent insuffisantes pour avoir une vision plus globale de l'exposition de la population et des risques sanitaires associés. Ainsi, certaines expositions locales n'ont pas été étudiées (fréquentation des plages, consommation de produits de la mer contaminés). Certaines sources d'exposition n'ont pas été prises en compte dans les évaluations, car non spécifiques des sites étudiés. C'est le cas de l'alimentation générale par l'intermédiaire de laquelle la population est déjà exposée aux substances présentes sur le site.

Par ailleurs, si les résultats des EDR permettent d'avoir des éléments favorisant la prise de décisions relatives à la prise en charge de la pollution des sites, ces derniers ne permettent pas d'appréhender la possibilité que certains événements sanitaires viennent à se manifester.

1.4 OBJECTIFS

L'objectif de l'étude de santé publique, confiée à la Cire Sud, était d'apporter les éléments décisionnels nécessaires, d'un point de vue sanitaire, à la prise en charge environnementale et sanitaire de la population.

2. Méthode

La réalisation de cette étude s'est appuyée sur la constitution d'un groupe de travail piloté par la Cire Sud, rassemblant l'ensemble des acteurs locaux concernés et des experts nationaux. Ce groupe s'est réuni régulièrement pour valider les objectifs de l'étude, la méthode de travail, les résultats et les recommandations (composition et calendrier en annexe 3).

Devant la nécessité de disposer rapidement d'éléments scientifiques convaincants, et en raison de la complexité d'appréhender l'exposition dans toutes ses dimensions, le choix a été fait de structurer l'étude sur les étapes de la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires (identification des dangers, relations dose-réponse, estimation de l'exposition, caractérisation des risques). Cependant, tout en respectant les principes de transparence et de cohérence de cette démarche, il n'était pas possible de conduire des recherches approfondies d'informations toxicologiques, ni de procéder à une estimation complète des niveaux d'exposition.

Ainsi, la recherche toxicologique [effet et valeur toxicologique de référence (VTR)] a été restreinte aux bases de données étrangères reconnues, et dans lesquelles la qualité des données mentionnées est généralement bonne, permettant ainsi de réduire le temps d'analyse.

Concernant l'exposition, seule l'exposition par voie orale a été retenue pour estimer les doses d'exposition des personnes. En effet, l'exposition par voie cutanée n'a pas été considérée car l'absorption des polluants inorganiques, par cette voie, est généralement lente et limitée [25,26]. Par ailleurs, la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires, incluant une exposition par voie cutanée, demandait un temps important (difficulté à estimer la dose absorbée par voie cutanée) qui n'était pas en adéquation avec la nécessité de rendre un avis au préfet de région dans des délais raisonnables. La modélisation par inhalation imposait également un travail conséquent sur les modalités de transfert par volatilisation des polluants, incompatible avec le délai imparti à l'étude. Il en était de même en ce qui concerne le passage des polluants dans les légumes et autres produits de consommation cultivés dans les jardins potagers des habitants de ces quartiers.

Les analyses réalisées par Airmaraix [17] dans l'air du site de l'Escalette (le plus pollué) ne montrent, par ailleurs, pas de métaux lourds dans la fraction inhalable des échantillons.

L'évaluation a été conduite :

- sur les sites les plus fréquentés de la zone : le site de l'Escalette qui est une zone de résidence et la plage de Saména ;
- pour les deux polluants retrouvés en plus grande quantité dans l'environnement et dont les impacts sur la santé sont bien décrits dans la littérature : le plomb et l'arsenic ;
- à partir des données environnementales existantes.

3. Identification des dangers

3.1 SOURCES ET MODALITÉS D'EXPOSITION AU PLOMB ET À L'ARSENIC

3.1.1. L'arsenic

L'arsenic est présent dans la nature, en particulier dans les roches qui renferment plus de 99 % de l'arsenic présent dans la croûte terrestre sous forme de minerais. L'érosion des roches, le lessivage des sols, les réactions d'oxydo-réduction et les précipitations entraînent une redistribution de l'arsenic vers les compartiments aquatiques et atmosphériques. D'autres sources naturelles d'émission d'arsenic dans l'atmosphère sont l'activité volcanique et les feux de forêts. La production d'arsenic, à 97 % sous forme d'As₂O₃, ainsi que ses diverses utilisations industrielles et agricoles sont également responsables de son accumulation dans l'environnement [27].

Dans l'air, l'arsenic se trouve principalement sous forme de particules. La volatilisation de l'arsenic, depuis le sol vers l'atmosphère, reste très faible.

La mobilité de l'arsenic dans les sols est assez limitée (adsorption sur les argiles et la matière organique), mais dépend du pH, du potentiel d'oxydoréduction et de l'activité microbologique du sol.

La solubilité de l'arsenic dans l'eau est variable. Dans les eaux naturelles, l'arsenic inorganique est prédominant. L'activité microbienne peut favoriser la présence d'arsenic organique.

L'absorption de l'arsenic par les végétaux, principalement depuis le flux hydrique, dépend de la forme en arsenic, du type de sols (pH, matière organique ...). Les teneurs en arsenic sont plus importantes dans les racines que dans les tiges et les feuilles, et augmentent avec les teneurs en arsenic dans le sol.

La voie principale d'exposition humaine non professionnelle à l'arsenic, dans l'environnement, est l'ingestion des aliments et de l'eau. L'alimentation est généralement le contribuant principal à la prise quotidienne de l'arsenic total. Dans quelques secteurs particuliers, l'eau potable peut devenir une source significative d'exposition à l'arsenic.

La prise quotidienne de l'arsenic total dans l'alimentation et les boissons est généralement comprise entre 20 et 300 µg/j. Environ 25 % de l'arsenic présent dans l'alimentation est sous forme inorganique, mais ceci dépend fortement du type de nourriture ingéré. Dans les produits de la mer, on trouve l'arsenic plus particulièrement sous forme organique [26].

L'exposition pulmonaire peut contribuer jusqu'à environ 10 µg/j pour un fumeur et environ 1 µg/j pour un non-fumeur ; elle peut être plus importante dans des secteurs pollués.

3.1.2. Le plomb

Le plomb est un composé très répandu dans l'environnement et utilisé dans de nombreuses activités industrielles (métallurgie, peintures, fabrication de batteries ...) [28,29].

L'air est le principal vecteur de transport du plomb vers les autres compartiments environnementaux. Si les dépôts se font principalement à proximité de la source émettrice, le plomb peut cependant se fixer sur des particules de petites tailles et être transporté sur de plus grandes distances.

Le comportement du plomb dans les sols dépend de la quantité de matière organique, de la salinité et du pH. En général, le plomb est peu mobile dans les sols et se fixe fortement à la matière organique, empêchant tout transfert vers les autres compartiments, les végétaux et les animaux. En revanche, dans les sols acides, le plomb se trouve sous forme dissoute et migre plus facilement.

Cette faible migration dans les sols explique que les eaux souterraines et de surface sont souvent peu chargées en plomb. Le plomb présent dans les eaux de consommation humaine provient des canalisations et raccords en plomb du réseau, en particulier en cas d'eau agressive.

Les aliments peuvent être contaminés pendant les phases de production ou de conservation des denrées (boîtes de conserve, capsules ...). Autour de sources émettrices, les animaux peuvent se contaminer par ingestion de sol et de végétaux pendant la pâture ou par inhalation. Les végétaux peuvent se charger en plomb par dépôt de poussières sur les feuilles (généralement éliminé au moment du lavage avant consommation) ou par absorption racinaire du plomb dissout (faible facteur de transfert).

Les voies d'absorption du plomb sont principalement digestive et respiratoire, l'absorption digestive étant prédominante. L'absorption percutanée n'est notable que pour les dérivés organiques.

Les principales voies d'exposition possibles sont :

- ingestion de poussières et d'écaillés de peinture déposées sur les sols dans l'habitat (portage main-bouche des enfants). La poussière peut également provenir d'activités de loisirs (poteries, soldats au plomb ...) ou de l'apport au domicile par des salariés exposés ;
- ingestion (portage main-bouche des jeunes enfants) et inhalation des poussières émises autour de sites industriels ;
- ingestion d'aliments contenant du plomb (dépôt de poussières sur les végétaux, concentration dans les tissus et liquides d'origine animale, contamination pendant la production ou la conservation des denrées) ;
- ingestion d'eau de consommation ayant séjourné dans des canalisations contenant du plomb.

3.2 EFFETS SUR LA SANTÉ

3.2.1. Effets de l'arsenic

La grande majorité des effets liés aux dérivés de l'arsenic sont induits par les dérivés inorganiques [26,27].

Les effets aigus de l'ingestion d'arsenic inorganique sont typiquement gastro-intestinaux, associant nausées, vomissements, douleurs abdominales et diarrhées, ainsi que des lésions dermatologiques. Les intoxications aiguës sévères s'accompagnent également d'une encéphalopathie aiguë avec confusion, convulsions, coma associé à une atteinte polyviscérale : détresse respiratoire, œdème pulmonaire, syndrome de détresse respiratoire aigu de l'adulte, hépatite, rhabdomyolyse, anémie hémolytique ou insuffisance rénale. La dose létale pour l'homme adulte est estimée entre 1 et 3 mg/kg/j d'arsenic [27,30].

L'arsenic inorganique est un cancérogène reconnu pour l'homme par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) [31] (classé en groupe 1) et par l'US-EPA [32] (classé en groupe A). Des études chez l'homme ont ainsi montré une augmentation de la mortalité par cancer du poumon, après une exposition chronique à l'arsenic par inhalation, et une augmentation de nombreux cancers internes (foie, rein, vessie et poumon) et de cancers cutanés par ingestion chronique d'arsenic.

L'exposition chronique à l'arsenic inorganique peut également être à l'origine de problèmes cutanés (l'hyperkératose et l'hyperpigmentation présentent des caractéristiques cliniques spécifiques d'une exposition à l'arsenic inorganique), d'effets hématologiques (anémie, leucopénie), d'atteintes du système nerveux périphérique, des effets hépatiques et de troubles vasculaires [28].

Même si les résultats de plusieurs études suggèrent des augmentations de la mortalité foetale, néonatale et postnatale, des petits poids à la naissance, des avortements spontanés et des malformations congénitales, aucune évidence ne permet à ce jour d'affirmer des effets sur la reproduction liés à l'arsenic inorganique [26].

L'arsenic inorganique est considéré comme génotoxique chez l'homme, sur la base d'effets clastogènes observés chez des individus exposés et également démontrés dans des études *in vitro* [26].

3.2.2. Effets du plomb

Le plomb sanguin ne représente que 1 à 2 % de la quantité présente dans l'organisme. Dans le sang, 98 % du métal est dans le globule rouge. Les tissus mous (surtout le rein, mais aussi le foie, la rate et le cerveau) contiennent 5 à 10 % de la dose interne qui représentent la quasi-totalité du plomb biologiquement actif. Plus de 90 % du pool de plomb chez l'adulte (et plus de 75 % chez l'enfant) sont osseux.

Les effets toxiques du plomb sont [29] :

- les effets sur le système nerveux central

Une intoxication importante peut provoquer une encéphalopathie avec hypertension intracrânienne se traduisant par une apathie, des céphalées, des vomissements, puis une confusion, une somnolence, des troubles de l'équilibre, suivis d'un coma et de convulsions pouvant conduire à la mort. Des séquelles neurologiques et comportementales importantes peuvent être observées à type de retard psychomoteur, épilepsie, cécité ou hémiparésie. Ces formes graves de l'intoxication peuvent être observées lorsque la plombémie dépasse 700 (et généralement 1 000) µg/l chez l'enfant et 2 000 µg/l chez l'adulte.

Des intoxications moins sévères peuvent être à l'origine d'irritabilité, de troubles du sommeil, d'anxiété, de perte de mémoire, de confusion et de fatigue ; elles correspondent à des plombémies comprises entre 500 et 700 µg/l chez l'enfant.

Les effets infracliniques sont les plus courants, et se traduisent par un retard léger du développement psychomoteur et une diminution de l'acuité auditive. Les travaux récents montrent que les effets neurotoxiques du plomb sont sans seuil ; il existe une corrélation inverse entre la plombémie et le quotient intellectuel qui persiste, même lorsque la plombémie est inférieure à 150 µg/l : une perte de 1 à 2 points de quotient intellectuel (QI) est observée lorsque la plombémie passe de 100 à 200 µg/l.

Les troubles mentaux organiques induits par le plomb sont durables. Des études longitudinales ont montré que les individus intoxiqués pendant leur petite enfance conservent un déficit cognitif quelques années plus tard et encore pendant l'adolescence, voire à l'âge adulte.

- les effets rénaux

Une exposition élevée peut être à l'origine d'une tubulopathie proximale avec syndrome de Toni-Debré-Fanconi (hyperaminoacidurie - glycosurie - hypercalciurie - hyperphosphaturie) ; ce tableau correspond à des contaminations massives avec une plombémie supérieure à 700 µg/l.

Des atteintes tubulaires plus discrètes, se traduisant par une fuite urinaire de protéines de faible poids moléculaire et une enzymurie, peuvent être observées à des niveaux d'imprégnation plus faibles (dès 400 µg/l).

Une atteinte tubulo-interstitielle et glomérulaire, responsable d'une insuffisance rénale chronique, peut faire suite à une exposition prolongée à un niveau correspondant à une plombémie supérieure à 600 µg/l.

- les effets hématologiques

Le plomb a une action inhibitrice sur la synthèse de l'hémoglobine et peut provoquer des anémies normochromes et normocytaires. Le plomb diminue également la durée de vie des hématies et modifie le métabolisme du fer.

Les anémies des enfants intoxiqués par le plomb sont souvent hypochromes et microcytaires, parce qu'une carence en fer est fréquemment associée à l'intoxication saturnine.

- les effets sur les os

Une exposition importante peut être à l'origine de bandes radio-opaques denses (versant métaphysaire des cartilages de conjugaison des os longs).

- les effets sur la reproduction

Les effets sont divers : hypofertilité masculine avec altération de la production de spermatozoïdes, tératospermie augmentée, modification des taux de testostérone, LH, FSH ; diminution du développement staturo-pondéral et psychomoteur de l'enfant. En cas d'exposition pendant la grossesse, on peut observer une augmentation des cas d'hypotrophie et d'avortements spontanés ou une prématurité.

- les effets cancérogènes

Seules des études récentes, chez l'adulte en milieu professionnel, suggèrent un effet cancérogène du plomb (poumon, estomac et peut-être vessie). Le Circ a classé le plomb inorganique et ses composés dans le groupe 2B (cancérogènes possibles pour l'homme) [33]. Les preuves sont principalement issues des études animales et sont très limitées en population humaine. L'agence américaine pour la protection de l'environnement (US-EPA) a classé ces mêmes composés dans le groupe B2 (probablement cancérogènes pour l'homme) [34].

Lorsqu'ils sont exposés à la présence de plomb dans l'environnement, les enfants, particulièrement ceux âgés de moins de 6 ans, constituent une population à risque pour plusieurs raisons [29] :

- pendant les premières années de sa vie, l'enfant porte spontanément les mains et les objets à la bouche. Il ingère ainsi une grande quantité de poussières. Dans certaines conditions, ce comportement peut aller jusqu'à l'ingestion de particules non alimentaires (syndrome de Pica) telles que la terre ou les écailles de peinture. Ces dernières peuvent être très riches en plomb ;
- près de 50 % du plomb ingéré passe dans le sang (10 % uniquement chez l'adulte) ;
- pour une même imprégnation, les effets toxiques du plomb sont plus importants et plus sévères que chez l'adulte, en raison des processus de développement cérébral ;
- enfin, le plomb passe la barrière transplacentaire et l'intoxication peut commencer dès la vie intra-utérine.

Le schéma, établi par l'ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) en 1990 [35], résume les effets attendus du plomb, chez l'enfant et l'adulte, suivant le niveau d'exposition mesuré par l'intermédiaire de la plombémie (figure 3).

Figure 3. Effets du plomb inorganique sur les enfants et les adultes. Taux minimum où l'effet peut être observé (d'après ATSDR, 1990)

Enfants	Plombémie (µg/l)	Adultes
	1 500	
Décès →		
	1 000	← Encéphalopathie
Encéphalopathie →		
Néphropathie →		← Anémie
Anémie →		
		← Longévité diminuée
Douleurs abdominales →		← Altération de la synthèse d'hémoglobine
	500	
		← Neuropathie périphérique
		← Infertilité masculine
↘ Synthèse de l'hémoglobine →	400	← Néphropathie
		← Pression artérielle systolique ↗ (hommes)
↘ Métabolisme de la vitamine D →	300	← Acuité auditive ↘
		← Protoporphyrines érythrocytaires ↗ (hommes)
↘ Vitesse de conduction nerveuse →	200	← Protoporphyrines érythrocytaires ↗ (femmes)
↗ Protoporphyrines érythrocytaires →		
↘ (?) Métabolisme de la vitamine D →		
Toxicité neurologique →		
↘ QI →		← Hypertension ↗ (?)
↘ Audition →	100	
↘ Croissance →		
Passage placentaire →		

4. Relations doses-réponses

4.1 EFFETS AIGUS

En 2000, l'ATSDR [36] a construit un niveau de risque minimum (MRL) pour l'arsenic inorganique égal à 5 µg/kg.j, à utiliser dans le cadre d'expositions aiguës. La MRL est dérivée à partir d'une *Lowest Observed Adverse Effect Level* (LOAEL), prenant en compte un facteur d'incertitude de 10 (Mizuta *et al.* 1956). Les dommages observés concernent des effets gastro-intestinaux et des œdèmes de la face chez l'homme. Cette MRL est valable pour des expositions d'une durée comprise entre 1 et 14 jours.

4.2 EFFETS CHRONIQUES

4.2.1. Arsenic inorganique

4.2.1.1. Effets non cancérogènes

L'ATSDR a construit une MRL de 0,3 µg/kg.j basée sur une *No Observed Adverse Effect Level* (NOAEL), égale à 1 µg/kg.j, pour des effets dermatologiques chez l'homme (Tseng 1977 ; Tseng *et al.* 1968). Le facteur d'incertitude (facteur 3) prend en compte la variabilité humaine (tableau 5).

A partir des mêmes études, l'US-EPA a également établi une dose de référence (RfD) de 0,3 µg/kg.j, à partir d'une NOAEL de 0,8 µg/kg.j, et en appliquant un facteur d'incertitude de 3, à la fois pour prendre en compte la variabilité individuelle et le manque de données pour exclure des effets sur la reproduction (tableau 5).

Le RIVM [Institut national de la santé publique et de la la protection de l'environnement (Pays-Bas)] a établi une dose journalière tolérable (TDI) de 1 µg/kg.j basée sur une NOAEL de 2,1 µg/kg.j pour des effets dermatologiques chez l'homme, et prenant en compte les recommandations du *Health Council of The Netherlands* (1993) qui a préconisé un facteur de sécurité de 2 pour compenser les erreurs d'observations de cette étude épidémiologique (tableau 5).

4.2.1.2. Effets cancérigènes

L'US-EPA a établi un excès de risque unitaire (ERU) par ingestion d'arsenic inorganique à partir des études de Tseng (1977) et Tseng *et al.* (1968) qui portaient sur 40 000 personnes exposées à de l'arsenic hydrique et 7 500 personnes non exposées (tableau 5). Après conversion d'équivalent de dose, pour tenir compte des différences de poids et de consommation d'eau entre Américains et Taïwanais, l'ERU, pour un adulte de 70 kg buvant 2 litres d'eau par jour, vaut $1,5 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j})^{-1}$.

L'estimation de la TD05 [*Tumorigenic Dose (5%)*], par Santé Canada, est basée sur l'évaluation de l'US-EPA complétée par les niveaux de fond d'incidence de cancers cutanés au Canada. Une concentration de 840 µg/l d'eau a ainsi été calculée. Elle équivaut à une dose de 18 µg/kg.j, en supposant une consommation d'eau de 1,5 litres par jour et un poids corporel moyen de 70 kg (tableau 5).

Tableau 5. Valeurs toxicologiques de référence chronique par voie orale pour l'arsenic inorganique

Source	DJA ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$)	ERU ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$) ⁻¹	Durée d'exposition	Effets sanitaires ou organe cible	Facteur d'incertitude	Etude	Année d'évaluation
ATSDR [36]	0,3		chronique	Peau	3	Tseng 1977 Tseng <i>et al.</i> 1968	2000
US-EPA [34]	0,3		chronique	Peau	3	Tseng, 1977 Tseng <i>et al.</i> 1968	1993
RIVM [37]	1		chronique	Peau	2	Health Council of The Netherlands, 1993	2000
US-EPA [34]		1,5 10 ⁻³	chronique	Peau	-	Tseng 1977 Tseng <i>et al.</i> 1968	1997
Santé- Canada [38]		18 *	chronique	Peau	-	Tseng 1977 Tseng <i>et al.</i> 1968	1992

* La VTR établie par Santé Canada est la *Tumorigenic dose* à 5 % (TD05) = 18 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$, qui correspond à la dose journalière responsable d'une augmentation de 5 % de l'incidence des cancers cutanés.

4.2.2. Plomb inorganique

En 1993, la JECFA (*Joint FAO/OMS Expert Committee on Food Additives*) (FAO/OMS) a établi une dose hebdomadaire tolérable de 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Cette valeur concerne toutes les sources de plomb et a été établie dans le but de protéger toutes les populations, y compris les enfants. Elle est basée sur un modèle indiquant qu'une dose journalière entre 3 et 4 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$, chez les jeunes enfants, n'est pas associée à une augmentation de la plombémie (tableau 6).

La valeur retenue par le RIVM est celle issue de l'évaluation de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Par ailleurs, il existe une relation entre la quantité de plomb ingérée par les aliments et la plombémie (PbS), établie par l'OMS [25].

- pour les enfants : PbS ($\mu\text{g}/\text{l}$) = 1,6 x dose journalière de plomb ingérée (μg)
- pour les adultes : PbS ($\mu\text{g}/\text{l}$) = 0,4 x dose journalière de plomb ingérée (μg)
-

Cette méthode est recommandée par l'InVS pour étudier la pertinence de la mise en place d'un dépistage du saturnisme infantile [29].

Tableau 6. Valeurs toxicologiques de référence chronique par voie orale pour le plomb inorganique

Source	DJA ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$)	ERU ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j}$) ⁻¹	Durée d'exposition	Effets sanitaires ou organe cible	Facteur d'incertitude	Etude	Année d'évaluation
JECFA [39]	3,6**		chronique	augmentation de la plombémie	-		1993
RIVM [37]	3,6**		chronique	augmentation de la plombémie	-	OMS	1999

**Valeur journalière établie à partir de la DHT de 25 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{semaine}$.

4.3 CHOIX DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE

Les différentes valeurs toxicologiques de référence respectent les critères d'analyse habituellement utilisés. Aussi, le choix se porte sur les valeurs les plus conservatrices, c'est-à-dire :

- une dose journalière admissible (DJA) de 0,3 µg/kg.j pour les effets non cancérogènes de l'arsenic inorganique ;
- un excès de risque unitaire (ERU) de $1,5 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{j})^{-1}$ pour les effets cancérogènes de l'arsenic inorganique.

Concernant le plomb, la conférence de consensus [40] admet pour seuil interventionnel la concentration de 100 µg/l de plomb dans le sang des jeunes enfants, seuil qui détermine également la déclaration obligatoire de saturnisme infantile. On utilisera donc la relation permettant d'estimer la plombémie à partir de la quantité de plomb ingérée, afin de répondre à la question posée de la nécessité d'une prise en charge de la population d'un point de vue sanitaire.

5. Estimation des expositions

5.1. SCÉNARIOS D'EXPOSITION

Les scénarios d'exposition ont été construits de façon indépendante suivant les situations suivantes :

- résidence sur le site de l'Escalette ;
- fréquentation de la plage de Saména ;
- consommation d'oursins ;
- consommation de moules.

Les expositions au plomb liées à l'ingestion des sols et des poussières n'ont été étudiées que chez les enfants, car les taux d'administration des adultes, par cette voie d'exposition, sont faibles, et la relation entre plombémie attendue et quantité de plomb ingéré est moins favorable chez les adultes. Les expositions au plomb par les organismes marins ont été étudiées chez les enfants et les adultes car les consommations des adultes sont plus importantes.

Les expositions à l'arsenic ont été étudiées chez les enfants et les adultes, quelle que soit la voie de transfert, car les temps d'exposition sont plus importants chez les adultes.

5.1.1. Résidence sur le site de l'Escalette

Les scénarios d'exposition relatifs à cette situation, pour estimer l'exposition au plomb, reprennent les budgets espace-temps proposés par l'InVS dans son analyse de la pertinence de la mise en place d'un dépistage du saturnisme infantile [29].

Ces scénarios ont été construits pour des enfants de 2 et 6 ans, en considérant qu'un enfant de 2 ans passe l'intégralité de son temps à domicile, et qu'un enfant de 6 ans passe 3 jours par semaine à domicile et 4 jours par semaine à l'école.

Pour tenir compte de la variabilité individuelle des modalités d'exposition, pour chaque scénario, plusieurs estimations de l'exposition ont été calculées : une estimation représentant une exposition moyenne et deux estimations relatives à des situations liées à un environnement défavorable (niveau élevé de pollution) ou à un comportement défavorable (quantité de terre ingérée élevée) de l'enfant (tableau 7).

Tableau 7. Scénario d'exposition suivant le comportement de l'enfant et l'environnement

	Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
Taux d'administration	moyen	moyen	maximum
Concentration en plomb des sols	médiane	maximum	médiane

Source : InVS [29]

Le temps passé aux différents lieux de vie des enfants est indiqué dans le tableau 8 [29,41].

Tableau 8. Temps (en heures) passé aux différents lieux de vie sur une semaine

	Enfant de 2 ans	Enfant de 6 ans
Sommeil	70	70
Domicile, intérieur	84	60
Domicile, extérieur	14	6
Ecole, intérieur	négligeable	24
Ecole, extérieur	négligeable	8

Source : InVS [29,41]

Afin d'étudier les effets sanitaires de l'arsenic, les scénarios retenus considèrent :

- une exposition d'un enfant, pendant 6 ans, avec des taux d'administration moyen et maximum de 100 et 400 mg/j de sols et de poussières ;
- une exposition d'un adulte pendant 30 ans (percentile 90 de la distribution de la durée de résidence établi par l'US-EPA [42]) avec des taux d'administration moyen de sols et de poussières de 50 mg/j.

5.1.2. Fréquentation de la plage de Saména

Selon les mêmes hypothèses concernant les taux d'administration de sols, afin d'estimer le risque sanitaire lié au plomb, le nombre de demi-journées hebdomadaires (temps arrondi à 4 heures par demi-journée) de fréquentation de la plage, nécessaire pour que la plombémie attendue chez un enfant de 2 ans ou de 6 ans atteigne 100 ou 250 $\mu\text{g/l}^4$, a été calculé.

Afin d'estimer le risque lié à l'arsenic, il a été calculé, selon les mêmes hypothèses que celles définies dans le paragraphe 5.1.1., le risque lié à une fréquentation hebdomadaire (1 jour par semaine) de la plage pour un enfant, sur une durée de 6 ans, et pour un adulte, sur une durée de 30 ans.

5.1.3. Consommation d'organismes marins

Afin d'évaluer le risque lié au plomb, et selon les recommandations de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) [35], il a été estimé la consommation hebdomadaire de moules ou d'oursins, nécessaire pour obtenir une plombémie attendue de :

- 100 et 250 $\mu\text{g/l}$ pour des enfants de 2 et 6 ans ;
- 100 $\mu\text{g/l}$ pour une femme enceinte ;
- 300 $\mu\text{g/l}$ pour un adulte.

Le risque lié à l'arsenic a été estimé en considérant différents scénarios en terme de nombre de repas annuels incluant la consommation de moules ou d'oursins. Ces nombres de repas sont issus d'une étude canadienne [43,44] qui considère les trois situations suivantes :

- 15 repas/an (soit en moyenne : environ 1 repas/mois) représentant une consommation moyenne ;
- 35 repas/an (soit en moyenne : environ 3 repas/mois) représentant les consommateurs réguliers ;
- 55 repas/an (soit en moyenne : environ 1 repas/semaine) représentant les consommateurs réguliers, dans un contexte d'abondance et d'accessibilité de la ressource.

Ces trois situations ont été jugées réalistes par le groupe de travail.

⁴ 250 $\mu\text{g/l}$ est le seuil de plombémie à partir duquel, il est recommandé de diriger l'enfant à une structure capable d'évaluer l'intoxication au plomb et de discuter l'indication d'un traitement chélateur.

La composition des repas contenant des moules ou des oursins a été estimée à :

- 12 oursins par repas pour des adultes ;
- 4 oursins par repas pour des enfants ;
- 50 moules par repas pour des adultes ;
- 20 moules par repas pour des enfants.

Le groupe de travail a estimé que ces quantités étaient réalistes mais vraisemblablement sous-estimées.

5.2 CALCUL DES DOSES D'EXPOSITION

5.2.1. Principe de calcul

Les doses journalières ou quotidiennes d'exposition sont fonction de la durée de contact avec les milieux par les différentes voies d'exposition, de la fréquence de ces contacts au cours de la période d'exposition et de la concentration du polluant dans les milieux.

Pour un milieu i et une voie j , la dose journalière ou hebdomadaire d'exposition E_{ij} est calculée suivant la formule :

$$E_{ij} = C_i * Q_{ij} * T$$

où :

C_i : concentration du polluant dans le milieu i

Q_{ij} : quantité de milieu i administré par la voie j par jour ou par semaine

T : durée d'exposition en heure par jour ou par semaine

Pour l'ensemble de la voie j , la dose journalière ou hebdomadaire d'exposition vaut :

$$DJE_j \text{ (ou DHE}_j) = \sum_i (E_{ij})$$

5.2.2. Données environnementales

5.2.2.1. Alimentation

L'évaluation du risque lié à l'ingestion de plomb étant réalisée par l'estimation de la plombémie, il était important de tenir compte de l'apport alimentaire moyen en plomb. Les valeurs retenues, issues de l'expertise collective de l'Inserm [35], sont :

- 210 μg /semaine pour un enfant de 2 ans ;
- 245 μg /semaine pour un enfant de 6 ans ;
- 350 μg /semaine pour un adulte.

L'apport par voie alimentaire des aliments autoproduits (hors produits de la mer) n'a pas été inclus, car les données n'étaient pas ou peu disponibles. De plus, les habitations situées sur le site de l'Escalette sont situées sur de petites propriétés. Si des jardins potagers existent, ils doivent peu participer, compte tenu de leur petite taille, à l'apport alimentaire moyen.

5.2.2.2. Eau

L'ingestion de polluants, par l'eau de distribution du réseau, n'a pas été prise en compte. En effet, le service communal d'hygiène et de santé de la ville de Marseille a indiqué que les concentrations en plomb et arsenic, sur le réseau de distribution, étaient toujours sous la limite de détection, c'est-à-dire 5 $\mu\text{g/l}$. Cette voie d'absorption a donc été considérée comme négligeable.

5.2.2.4. Sols et poussières

Les valeurs de contamination prises en compte sont les concentrations des sols de surface, directement en contact avec la population et disponibles dans les différents dossiers d'évaluation (tableau 9). Pour le site de l'Escalette, les zones les plus proches des habitations (plateforme du restaurant) ont été choisies ; les zones les plus polluées, proches de l'ancienne usine, n'ont pas été retenues.

Concernant les contaminations des poussières à l'intérieur des maisons, elles ont été considérées comme égales à 70 % des concentrations des sols extérieurs pour le plomb (valeur recommandée par l'US-EPA [45]) et à 100 % pour l'arsenic. Ces valeurs ne tiennent pas compte d'une éventuelle contamination intérieure de l'habitat.

Tableau 9. Teneurs en polluants des sols et poussières suivant la localisation

Site	Plomb (mg/kg MS*)		Arsenic (mg/kg MS*)	
	médiane	maximum	médiane	maximum
L'Escalette - sols	633	1 859	29,4	92
L'Escalette - poussières	443	1 301	29,4	92
Plage de Saména	1 196	4 300	472,0	2 024

* mg/kg MS : milligramme par kilo de matière sèche

5.2.2.5. Organismes marins

A la lecture des résultats d'analyses des services maritimes (annexe 4), deux zones de provenance des organismes marins ont été considérées pour tenir compte des différences de contamination en plomb et arsenic (figure 4 et tableau 10). En effet, les moules, et surtout les oursins provenant de la zone Nord, sont plus concentrés en plomb alors que les moules provenant de la zone Sud sont plus contaminées en arsenic (c'est également le cas pour les oursins mais de façon moins marquée). L'évaluation a porté sur les organismes provenant soit de la zone Nord, soit de la zone Sud soit de l'ensemble de la zone en prenant la valeur médiane des concentrations.

Figure 4. Découpage géographique de la zone d'étude maritime

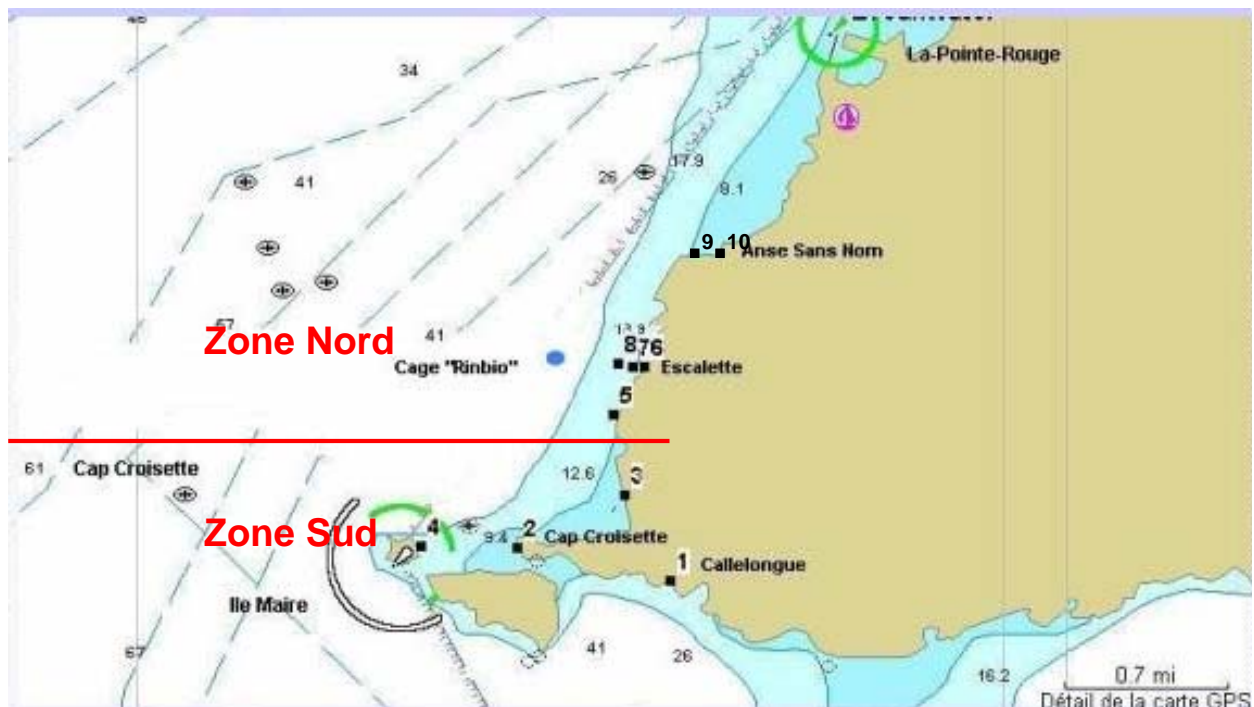


Tableau 10. Contamination des organismes marins suivant la zone géographique

Organisme	Polluant (mg/kg frais)		Zone Nord	Zone Sud	Ensemble
Moules	Pb	min	1,04	0,06	0,06
		max	1,22	0,17	1,22
		médiane	1,17	0,09	0,17
	As	min	0,37	5,86	0,37
		max	0,39	6,24	6,24
		médiane	0,39	6,09	5,86
Oursins	Pb	min	3,30	0,28	0,28
		max	14,12	0,61	14,12
		médiane	11,69	0,55	4,09
	As	min	1,02	0,51	0,51
		max	3,07	2,89	3,07
		médiane	1,75	2,62	2,35

Il a été supposé que 10 % de l'arsenic total des organismes marins était sous forme inorganique (recommandation de la US-FDA - United States Food and Drug administration [46]) pour tenir compte du caractère plus toxique de l'arsenic inorganique.

5.2.3. Données physiologiques

Le poids d'un enfant de moins de 6 ans a été considéré comme égal à 16,6 kg ; celui d'un adulte 70 kg [42].

Les taux d'administration des milieux sont présentés dans le tableau 11 [29,41].

Tableau 11. Taux d'administration (moyens et extrêmes) des milieux

	Enfant de 2 ans	Enfant de 6 ans
Sol extérieur (mg/h d'activité*)	20 [80]	10 [40]
Poussières intérieures (mg/h d'activité*)	5 [20]	0,25 [1]

* excluant le temps de sommeil, source InVS [29,41]

5.2.4. Résultats

5.2.4.1. Résidence sur le site de l'Escalette

Les doses hebdomadaires de plomb ingéré par des enfants de 2 ans et de 6 ans se trouvent respectivement dans les tableaux 12 et 13.

Tableau 12. Dose hebdomadaire de plomb ingéré par un enfant de 2 ans, site de l'Escalette

Lieu	Estimation moyenne		Environnement défavorable		Comportement défavorable	
	domicile (intérieur)	domicile (extérieur)	domicile (intérieur)	domicile (extérieur)	domicile (intérieur)	domicile (extérieur)
Temps (h/semaine)	84	14	84	14	84	14
Quantité ingérée (mg/h)	5	20	5	20	20	80
Teneur en plomb (mg/kg)	443,1	633	1 301,3	1 859	443,1	633
Dose hebdo (µg/semaine)	186,1	177,2	546,5	520,5	744,4	709,0
Alimentation (µg/semaine)	210		210		210	
Total (µg/semaine)	573,3		1 277,1		1 663,4	

Tableau 13. Dose hebdomadaire de plomb ingéré par un enfant de 6 ans, site de l'Escalette

	Estimation moyenne		Environnement défavorable		Comportement défavorable	
	domicile (intérieur)	domicile (extérieur)	domicile (intérieur)	domicile (extérieur)	domicile (intérieur)	domicile (extérieur)
Lieu						
Temps (h/semaine)	60	6	60	6	60	6
Quantité ingérée (mg/h)	0,25	10	0,25	10	1	40
Teneur en plomb (mg/kg)	443,1	633	1 301,3	1 859	443,1	633
Dose hebdo (µg/semaine)	6,6	38,0	19,5	111,5	26,6	151,9
Alimentation (µg/semaine)		245		245		245
Total (µg/semaine)		289,6		376,1		423,5

Les doses journalières d'exposition en arsenic inorganique se trouvent dans le tableau 14.

Tableau 14 . Dose journalière d'exposition en arsenic inorganique, site de l'Escalette

		Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
		Teneur en arsenic (mg/kg)	29,4	92
Enfant < 6 ans	Quantité sol ingérée (mg/j)	100	100	400
	DJE (µg/kg/j)	0,18	0,55	0,71
Adulte	Quantité sol ingérée (mg/j)	50	50	
	DJE (µg/kg/j)	0,02	0,09	

5.2.4.2. Plage de Saména

Les doses hebdomadaires de plomb ingéré ont été calculées en faisant varier la fréquentation hebdomadaire de la plage de Saména (annexe 4), jusqu'à obtenir un dépassement du seuil des plombémies attendues (annexe 5).

Les doses journalières d'exposition en arsenic inorganique se trouvent dans le tableau 15.

Tableau 15. Dose journalière d'exposition en arsenic inorganique, plage de Saména (fréquentation moyenne : 1 jour par semaine)

		Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
		Teneur en arsenic (mg/kg)	472	2 024
Enfant < 6 ans	Quantité sol ingérée (mg/j)	100	100	400
	DJE (µg/kg/j)	0,41	1,74	1,62
Adulte	Quantité sol ingérée (mg/j)	50	50	
	DJE (µg/kg/j)	0,05	0,21	

5.2.4.3. Organismes marins

Les doses hebdomadaires de plomb ingéré ont été calculées en faisant varier le nombre d'oursins ou de moules consommés par semaine et leur provenance (annexe 4), jusqu'à obtenir un dépassement du seuil des plombémies attendues (annexe 5).

Le tableau 16 indique les doses journalières d'exposition à l'arsenic inorganique suivant le nombre de repas annuel contenant des oursins et des moules (détail des calculs en annexe 6).

Tableau 16. Doses journalières d'exposition ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$) à l'arsenic inorganique pour les enfants et les adultes suivant le nombre de repas annuel contenant des oursins ou des moules

Nombre de repas par an contenant des oursins ou des moules	Oursins		Moules	
	Adulte	Enfant < 6 ans	Adulte	Enfant < 6 ans
15 repas	0,005	0,007	0,028	0,047
35 repas	0,010	0,020	0,070	0,110
55 repas	0,020	0,030	0,100	0,170

6. Caractérisation du risque

6.1 RISQUE SANITAIRE LIÉ À L'INGESTION DE PLOMB

6.1.1. Fréquentation des sites pollués

Les plombémies attendues, calculées suivant les scénarios de résidence sur le site de l'Escalette, montrent un dépassement de la valeur seuil de 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ pour les enfants de moins de 2 ans, quel que soit le scénario retenu ; cette valeur n'est jamais atteinte pour les enfants de 2 à 6 ans (tableau 17).

Tableau 17. Plombémies attendues ($\mu\text{g}/\text{l}$) suivant les scénarios de résidence sur le site de l'Escalette

	Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
Enfant < 2 ans	131	292	380
Enfant < 6 ans	66	86	97

Le dépassement du seuil de plombémie de 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ après fréquentation de la plage de Saména est atteint très rapidement, quel que soit l'âge de l'enfant et le scénario retenu (une fréquentation régulière d'une durée d'une demi-journée par semaine suffit). Le dépassement du seuil de plombémie de 250 $\mu\text{g}/\text{l}$ est observé pour les situations défavorables, pour des fréquentations de 3 à 5 demi-journées hebdomadaires, suivant l'âge de l'enfant (tableau 18).

Tableau 18. Nombre de demi-journées de fréquentation par semaine de la plage de Saména pour que la plombémie attendue dépasse 100 ou 250 $\mu\text{g}/\text{l}$ suivant les scénarios et l'âge de l'enfant.

			Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
Fréquentation PbS > 100 $\mu\text{g}/\text{l}$	pour	Enfant < 2 ans	3	1	1
		Enfant < 6 ans	4	2	1
Fréquentation PbS > 250 $\mu\text{g}/\text{l}$	pour	Enfant < 2 ans	10	3	3
		Enfant < 6 ans	*	5	5

* Une semaine comportant 14 demi-journées, une plombémie de 250 $\mu\text{g}/\text{l}$ ne peut pas être atteinte avec ce scénario (il faudrait 18 demi-journées).

6.1.2. Consommation de produits de la mer

Les résultats de plombémie attendue chez les enfants (tableau 19) montrent qu'un dépassement de la valeur de 100 µg/l peut être rapidement atteint (consommation hebdomadaire de moins de 20 oursins, sans tenir compte de leur provenance précise, et moins de 10 oursins pêchés dans la partie nord de la zone). Une consommation hebdomadaire d'environ 25 oursins pêchés dans la partie nord de la zone permet même d'atteindre le seuil à partir duquel les enfants doivent bénéficier d'une évaluation de leur intoxication en milieu spécialisé, soit 250 µg/l.

La consommation de moules pêchées localement n'est, par contre, pas susceptible de poser des problèmes de saturnisme infantile.

Tableau 19. Consommation hebdomadaire d'organismes marins nécessaire pour atteindre les seuils de plombémie de 100 et 250 µg/l chez les enfants en fonction de l'âge, de l'organisme marin et de son lieu de provenance.

	Individu	Organisme marin	Zone Nord	Zone Sud	Ensemble
Consommation hebdomadaire pour PbS = 100 µg/l	Enfant < 2 ans	Oursins	7	152	19
	Enfant < 6 ans	Oursins	6	129	16
	Enfant < 2 ans	Moules	120	1 550	821
	Enfant < 6 ans	Moules	101	1 311	694
Consommation hebdomadaire pour PbS = 250 µg/l	Enfant < 2 ans	Oursins	26	590	72
	Enfant < 6 ans	Oursins	25	566	69
	Enfant < 2 ans	Moules	464	6 023	3 189
	Enfant < 6 ans	Moules	445	5 785	3 063

Comme pour les enfants, la consommation de moules par les adultes n'est pas préoccupante, au contraire de celle des oursins plus particulièrement pour les femmes enceintes (tableau 20). Une consommation hebdomadaire de 40 oursins provenant de la partie nord de la zone est, en effet, susceptible de permettre d'atteindre une plombémie estimée de 100 µg/l.

Tableau 20. Consommation hebdomadaire d'organismes marins nécessaire pour atteindre les seuils de plombémie de 100 et 300 µg/l chez les adultes en fonction de l'organisme marin et de son lieu de provenance.

			Organisme marin	Zone Nord	Zone Sud	Ensemble
Consommation hebdomadaire pour PbS = 100 µg/l		pour	Oursins	40	933	114
			Moules	734	9 538	5 050
Consommation hebdomadaire pour PbS = 300 µg/l		pour	Oursins	140	3 267	399
			Moules	2 569	33 396	17 680

Il faut également noter que la fréquence de fréquentation de la plage et la consommation d'organismes marins (tableaux 18 à 20) doivent être régulières, afin de maintenir les plombémies aux valeurs attendues.

6.2. Risque sanitaire lié à l'arsenic inorganique

6.2.1. Fréquentation des sites pollués

Selon les hypothèses retenues pour cette évaluation du risque :

- les quotients de danger, associés au risque non cancérogène de l'arsenic, sont supérieurs à 1 pour la plupart des scénarios concernant les enfants, indiquant ainsi que des problèmes cutanés sont susceptibles d'apparaître au sein de cette population. Ils sont par contre toujours inférieurs à 1 pour les adultes pour lesquels il n'y a pas lieu de s'attendre à la survenue de ces pathologies (tableau 21) ;
- les excès de risque individuel sont dans toutes les situations (quels que soient le scénario et la population) supérieurs à la valeur de 10^{-5} , classiquement retenue comme seuil de décision en matière de sites et sols pollués [47], indiquant que la probabilité de développement de cancers de la peau, par cette population, n'est pas à négliger (tableau 21).

Tableau 21. Quotients de danger et excès de risque individuel liés à l'exposition à l'arsenic inorganique - site de l'Escalette et plage de Saména

Situation	Individu	Indicateur du risque	Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
Résidence site de l'Escalette	Enfant < 6 ans	QD	0,59	1,85	2,36
		ERI	2,28 10⁻⁵	7,13 10⁻⁵	9,11 10⁻⁵
	Adulte	QD	0,07	0,22	-
		ERI	1,35 10⁻⁵	4,22 10⁻⁵	-
Fréquentation plage de Saména	Enfant < 6 ans	QD	1,35	5,79	5,40
		ERI	5,21 10⁻⁵	2,23 10⁻⁴	2,08 10⁻⁴
	Adulte	QD	0,16	0,69	-
		ERI	3,09 10⁻⁵	1,32 10⁻⁴	-

6.2.2. Consommation de produits de la mer

Les résultats de l'évaluation concernant la consommation de produits locaux de la mer montrent que les taux d'arsenic présent dans les oursins ne sont pas préoccupants pour la santé des consommateurs (tableau 22). Seul un excès de risque individuel, à la limite du seuil de 10^{-5} , est observé pour les adultes considérés comme consommateurs réguliers, dans un contexte d'abondance et d'accessibilité de la ressource (55 repas/an).

La consommation de moules est plus préoccupante pour les effets cancérogènes (tableau 22) : l'excès de risque individuel pour les adultes dépasse le seuil de 10^{-5} , quel que soit leur consommation. Pour les enfants, ce risque ne concerne que les enfants gros consommateurs de moules.

Tableau 22. Quotients de danger et excès de risque individuel liés à l'exposition à l'arsenic inorganique par la consommation d'organismes marins

Organisme marin	Nombre de repas/an	Enfants		Adultes	
		QD	ERI	QD	ERI
Oursins	15 repas	0,02	$9,0 \cdot 10^{-7}$	0,02	$3,2 \cdot 10^{-6}$
	35 repas	0,05	$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,04	$7,4 \cdot 10^{-6}$
	55 repas	0,09	$3,3 \cdot 10^{-6}$	0,06	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Moules	15 repas	0,16	$6,1 \cdot 10^{-6}$	0,09	$1,8 \cdot 10^{-5}$
	35 repas	0,37	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,22	$4,2 \cdot 10^{-5}$
	55 repas	0,58	$2,2 \cdot 10^{-5}$	0,34	$6,6 \cdot 10^{-5}$

7. Discussion des résultats

Même si les incertitudes liées à l'évaluation des risques sanitaires peuvent être nombreuses, cette méthodologie a l'avantage d'être transparente, cohérente et spécifique. Elle fournit l'estimation la plus vraisemblable du risque sanitaire.

La vraisemblance de ces résultats est cependant à discuter, en essayant d'éclairer leur interprétation dans le but de formuler des propositions de recommandations.

Le tableau 23 résume la part d'influence de différents paramètres sur les résultats de l'évaluation des risques sanitaires.

Tableau 23. Classement des paramètres suivant leur influence sur l'évaluation du risque sanitaire

	Surestimation	Sous-estimation	Incertitude
Biodisponibilité Pb du sol	x		
Pb dans alimentation	x		
Spéciation métaux	x		
VTR	x		
Autres apports		x	
Scénarios indépendants		x	
Autres toxiques		x	
Autres lieux d'intoxication		x	
Ingestion de sols			x
BET			x
% As inorganique			x
Prélèvements de sols			x
Précision analyses sols			x
Précision analyses mer			x
Relation PbS			x
Maturité des organismes marins			x

7.1 FACTEURS DE SURESTIMATION

La modélisation de la plombémie tient compte de la variabilité de l'absorption du plomb en fonction de la voie d'exposition (ingestion ou inhalation). Elle ne tient pas compte de la spéciation du plomb (forme chimique dans laquelle se trouve le plomb), qui a pourtant une influence sur la biodisponibilité de ce métal.

De plus, cette relation a été élaborée à partir d'apports alimentaires en plomb. En considérant que la biodisponibilité du plomb tellurique est égale à celle du plomb alimentaire, on surestime la plombémie attendue. La biodisponibilité relative moyenne des sols, par rapport aux apports alimentaires, est de 0,6, mais varie de façon importante suivant la nature des sols et des polluants.

Par ailleurs, du fait de leur construction (facteurs de sécurité, extrapolation hautes doses - basses doses ...), les valeurs toxicologiques de référence ont tendance à surestimer le risque sanitaire.

Enfin, pour l'apport alimentaire en plomb, des données françaises ont été utilisées [35], mais compte tenu de leur ancienneté (1995) et des actions engagées par les autorités pour limiter l'exposition au plomb, on peut estimer que cet apport est surévalué.

7.2. FACTEURS DE SOUS-ESTIMATION

Dans cette évaluation des risques sanitaires, certains apports n'ont pas été étudiés, soit parce qu'ils ont été considérés comme négligeables (inhalation, légumes autoproduits), soit parce qu'ils n'étaient pas quantifiables (contamination des poussières dans l'habitat, autres sites contaminés identifiés, consommation de poissons...) et que le temps imparti pour l'étude ne permettait pas de faire des analyses complémentaires, ou encore parce que d'autres lieux contaminés étaient fréquentés (contamination des écoles par le plomb, autres sites contaminés non identifiés ...). Le risque est de ce fait sous-estimé.

Tous les scénarios ont été étudiés indépendamment. Un individu a cependant pu être exposé de façon concomitante par les différentes sources : un enfant résidant à l'Escalette peut fréquenter la plage de l'Escalette et consommer des oursins. Le risque sanitaire de cet individu est donc sous-estimé.

L'évaluation des risques n'a concerné que deux polluants : le plomb et l'arsenic qui étaient les polluants présents en plus grande quantité et dont les teneurs étaient connues dans de nombreux milieux (terrestres et marins). Le risque sanitaire engendré par d'autres polluants, présents sur les différents sites, n'a donc pas été pris en compte.

L'évaluation n'a porté que sur quelques sites et d'autres expositions environnementales aux polluants sur ce littoral n'ont pas été prises en compte.

7.3. FACTEURS D'INCERTITUDE

Les modalités d'exposition varient d'un individu à l'autre et dépendent de nombreux facteurs (poids corporel, taux d'ingestion, alimentation ...). Pour en tenir compte, cette évaluation donne une prévision du risque moyen par scénario à partir de coefficients moyens d'exposition, complétée par des estimations hautes du risque sanitaire (forts consommateurs de produits de la mer, environnement et comportement défavorables).

Parmi les paramètres comportementaux, l'ingestion de sol est un paramètre particulièrement discuté dans la littérature spécialisée. Les valeurs varient en fonction de l'élément traceur retenu.

Les limites de cette étude peuvent être liées aux données utilisées. Les données existantes peuvent en effet avoir été produites dans d'autres buts que l'évaluation des expositions. N'ont ainsi été retenues dans l'évaluation que les analyses qui correspondent aux concentrations de surface ou des premiers centimètres. La représentativité de ces données, par rapport à l'environnement et à l'émission ou la diffusion des polluants, peut également apporter des incertitudes sur les résultats de l'évaluation (incertitude liée à l'endroit précis des prélèvements).

L'incertitude des résultats peut découler de la précision des analyses réalisées, qui était rarement indiquée dans les rapports consultés. On peut noter que certaines analyses de sols, réalisées sur le site de l'Escalette, étaient entachées d'une marge d'erreur de 20 % (résultat = X mg/g +/- 20 % : information obtenue après contact d'un des laboratoires ayant réalisé les analyses). De même, les résultats peuvent varier selon la méthode de prélèvement (nombre de points d'échantillonnage, profondeur de l'échantillon ...), pouvant amener, là aussi, à des imprécisions en terme d'évaluation du risque.

La proportion d'arsenic organique par rapport à l'arsenic total est importante dans les organismes marins, mais elle est variable suivant les espèces. La valeur retenue est une valeur moyenne proposée par la US-FDA qu'il n'a pas été possible de comparer à celle de nos échantillons.

Les teneurs en métaux dans les moules et oursins dépendent également de la phase de maturité des animaux, et donc, des saisons. Les campagnes de prélèvements des différents échantillons n'ont pas eu lieu à la même période (février 2003, juillet 2004 et septembre 2004) et peuvent donc avoir une influence sur le résultat de l'estimation des doses ingérées. De plus, même si un échantillon de moules ou d'oursins est composé d'une cinquantaine d'individus, le calcul des concentrations en métaux lourds est basé sur un nombre peu élevé d'échantillons (8 échantillons pour les moules et 10 échantillons pour les oursins).

7.4. CONSÉQUENCE SUR L'IMPACT SANITAIRE

Au final, la précision de cette évaluation est difficile à quantifier. En général, on considère que la démarche d'évaluation des risques sanitaires a tendance à surestimer ces derniers.

Les résultats de cette évaluation des risques montrent, pour certains scénarios d'exposition et en fonction des choix toxicologiques, des dépassements des valeurs seuil de décision en matière de sites et sols pollués. Ils apparaissent d'autant plus préoccupants que :

- certaines voies d'exposition n'ont pas été étudiés (inhalation, végétaux autoproduits,...) ;
- certains polluants n'ont pas été étudiés ;
- les évaluations ont été réalisées de façon indépendante.

8. Conclusion et recommandations

Au regard des résultats de l'évaluation des risques sanitaires, il apparaît que certains lieux et certaines habitudes alimentaires peuvent être l'origine d'un risque sanitaire pour la population, car ils dépassent les repères habituellement utilisés (tableau 24).

Tableau 24. Classement des situations en terme de dépassement des valeurs seuil en fonction du polluant et du risque sanitaire

Polluant	Situation	Valeurs seuil dépassées	Valeurs seuil non dépassées
Pb	Site de l'Escalette	x	
	Plage de Saména	x	
	Consommation de moules		x
	Consommation d'oursins	x	
As non cancérogène	Site de l'Escalette	x	
	Plage de Saména	x	
	Consommation de moules		x
	Consommation d'oursins		x
As cancérogène	Site de l'Escalette	x	
	Plage de Saména	x	
	Consommation de moules	x	
	Consommation d'oursins		x

Les situations qui sont susceptibles d'engendrer un risque sanitaire sont :

- la résidence sur le site de l'Escalette et la fréquentation de la plage de Saména, quels que soient le polluant et l'effet étudiés (plomb et arsenic, effets cancérogènes et non cancérogènes) ;
- la consommation d'oursins pour le risque lié au plomb ;
- la consommation de moules liée au risque cancérogène de l'arsenic.

Les risques liés au plomb concernent plus particulièrement les jeunes enfants.

Les résultats de l'évaluation des risques sanitaires renforcent le constat, déjà réalisé par les autorités, sur l'impact environnemental des anciennes friches industrielles sur le milieu (forte contamination des sols et des organismes marins) et les résultats des EDR déjà réalisées sur quelques sites.

Ils ont amené le groupe de travail à proposer des recommandations d'actions d'ordre sanitaire et environnementale, afin d'assurer une prise en charge médicale des populations et réduire leurs expositions.

Sur un plan sanitaire, elles comprennent :

- pour le risque lié à une exposition au plomb, la mise en place d'un dépistage du saturnisme infantile, au minimum sur la zone de l'Escalette. En cas de plombémie élevée, outre une prise en charge médicale immédiate, ce dépistage sera complété par une enquête diagnostic individuelle de l'environnement des enfants telle que prévue par les dispositions réglementaires.

En revanche, la réalisation d'une étude d'imprégnation de la population à l'arsenic n'a pas été retenue, dans la mesure où, d'une part, il n'existe pas de seuil de référence comme c'est le cas pour le plomb et, d'autre part, les effets sanitaires ne sont pas spécifiques.

- une politique d'information du corps médical local afin qu'ils assurent une vigilance particulière auprès des populations concernées.

Sur un plan environnemental, elles comprennent :

- la réhabilitation des sites pollués (y compris ceux qui n'ont pas été inclus dans l'évaluation des risques sanitaires, mais qui peuvent toutefois constituer une source de contamination) avec une priorité par rapport aux sites qui sont habités et fréquentés par des usagers ;
- la fermeture de la plage de Saména s'il n'est pas possible de la dépolluer avant l'été 2005 ;
- l'interdiction de pêche des oursins si la nouvelle campagne d'analyses, menée par le service maritime (en cours), confirme la contamination. La pêche aux moules est déjà interdite sur cette zone de la côte.

Le groupe de travail a proposé que la mise en œuvre et le suivi de ces actions soient confiés, pour pilotage, à la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (Ddass) des Bouches-du-Rhône pour les aspects sanitaires et à la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'industrie (Drir Paca) pour les aspects environnementaux, les pilotes se tenant mutuellement informés de l'avancée des travaux dans chacun des sous-groupes.

Ces recommandations, accompagnées d'une note de synthèse de l'étude, ont été transmises par l'InVS au préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le 22 mars 2005.

La synthèse de l'étude a ensuite été rendue publique par le biais du site Internet de l'InVS⁵.

⁵ http://www.invs.sante.fr/presse/2005/le_point_sur/pollution_pb_180705/index.html

Références bibliographiques

1. Conseil général des Bouches-du-Rhône. Evaluation simplifiée des risques. Site de Saména (Marseille). Rapport ANTEA n°24999/B de novembre 2001.
2. SMPI. Fonderie de l'Escalette. Evaluation simplifiée des risques. Dossier CEBTP n°C252.9.071 de février 2000.
3. SMPI. Friche de l'Escalette. Diagnostic approfondi. Evaluation détaillée des risques. Dossier CEBTP n°C252.0.056 de septembre 2000 et annexes.
4. Tiran Immobilier copropriété de l'Escalette. Evaluation simplifiée des risques. Dossier CEBTP n°C252.0.068 d'octobre 2000.
5. Conseil général des Bouches-du-Rhône. Diagnostic environnemental de la friche industrielle de l'Escalette à Marseille. Rapport ANTEA n°A22792 version B de février 2001.
6. Conseil général des Bouches-du-Rhône. Friche de l'Escalette à Marseille. Définition d'un programme de réhabilitation du site. Dossier CEBTP n°C252.1097 de février 2002.
7. Conseil général des Bouches-du-Rhône. Calanque de Saména (Marseille 8^e arrondissement). Travaux d'urgence. Rapport d'assistance technique au maître d'ouvrage. Rapport CFG-HCT/SD n°A24314-A du 12 septembre 2001.
8. Conseil général des Bouches-du-Rhône. Site de Saména Marseille 8^e. Elaboration d'un programme de travaux de réhabilitation. Rapport ANTEA n°A29062B de février 2003.
9. Etablissements Legré-Mante. Diagnostic de la qualité des sols (parcelle A). Rapport SOCOTEC n° 2733 de décembre 1996 + complément au rapport.
10. Etablissements Legré-Mante. Compléments d'investigations sur les sols et établissement d'un programme de réhabilitation du site. Rapport ANTEA n° A09746 de mai 1998.
11. Site de Legré-Mante. Evaluation détaillée des risques sur la parcelle A. Rapport ANTEA n° 23967/B de novembre 2001.
12. Etablissements Legré-Mante. Diagnostic de la qualité des sols (parcelle B). Rapport SOCOTEC n° 2752 de janvier 1997.
13. Etablissements Legré-Mante. Compléments d'investigations des remblais de la parcelle B. Rapport CERTA de janvier 2000.
14. Etablissements Legré-Mante. Compléments d'investigations des remblais de la parcelle B. Rapport CERTA de juin 2000.
15. Etablissements Legré-Mante. Compléments d'investigations au droit des remblais de la parcelle B. Rapport d'intervention ANTEA n° A20422A de juin 2000.
16. Rapport APAVE n°01.55.LC.6164 de mai 2001.
17. AIRMARAIX. Campagne de mesures temporaires. Particules et métaux lourds sur le site de l'Escalette (Marseille). Novembre 2003
18. Conseil général des Bouches-du-Rhône. Compte rendu de prélèvement et d'analyse d'échantillons de scories et d'eau de mer dans la calanque de Saména à Marseille. Rapport ANTEA n°A21230A de septembre 2000.
19. Conseil général des Bouches-du-Rhône. Compte rendu de prélèvement et d'analyse d'échantillons de scories et d'eau de mer dans la calanque de Saména à Marseille. Rapport ANTEA n°A23641-A de juin 2001.
20. Bureau de recherche géologique et minière. Gestion des sites potentiellement pollués – version 2 (décembre 2002).
21. Direction départementale des affaires maritimes des Bouches-du-Rhône. Note concernant la contamination des sols du littoral sud et de la mer due aux friches industrielles du sud de Marseille. (28 mai 2004).
22. Service maritime des Bouches-du-Rhône. Reconnaissance sous-marine de la Pointe Rouge à Callelongue sur une bande de 20 mètres. Rapport ECTM n°502/03, 2003.
23. Service maritime des Bouches-du-Rhône. Note concernant la contamination du milieu marin dans le secteur des calanques de l'Escalette et de Saména (31 mars 2004).
24. Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer. Contamination du milieu marin dans le secteur des calanques de l'Escalette et de Saména (commune de Marseille). 11 mai 2004.
25. International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria n°165, Inorganic lead, 1995.
26. International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria n°224, Arsenic and arsenic compounds, 2001.
27. Institut national de l'environnement industriel et des risques. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Arsenic et ses dérivés inorganiques (mise à jour 16/02/2005)
28. Institut national de l'environnement industriel et des risques. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Plomb et ses dérivés (mise à jour 03/02/2003).

29. Institut de veille sanitaire. Dépistage du saturnisme infantile autour des sources industrielles de plomb. Analyse de la pertinence de la mise en œuvre d'un dépistage : du diagnostic environnemental à l'estimation des expositions (mars 2002).
30. Institut national de la recherche et de la sécurité, fiche toxicologique n°192, arsenic et composés minéraux, 1992.
31. International Agency on Research on Cancer, Arsenic and arsenic compounds. IARC Monographs Suppl. 7, 1987, p.100.
32. United States Environmental Protection Agency, Integrated risk information system, Arsenic, inorganic, 1998.
33. International Agency on Research on Cancer, Lead and lead compounds. IARC Monographs Suppl. 7, 1987, p.230.
34. United States Environmental Protection Agency, Integrated risk information system, Lead and compounds (inorganic), 2004.
35. Institut national de la santé et de la recherche médicale. Plomb dans l'environnement. Quels risques pour la santé ? 1999.
36. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological profile for arsenic, 2000.
37. Institut national de la santé publique et de la protection de l'environnement (Pays-Bas), Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, RIVM Rapport 711701025, 2001.
38. Environnement Canada, Santé Canada, Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire, rapport d'évaluation. L'arsenic et ses composés, 1993.
39. Joint FAO/OMS Expert Committee on Food Additives. Summary and conclusions 53th meeting, Rome.1999
40. Société française de pédiatrie, Société française de santé publique. Conférence de consensus. Intoxication par le plomb de l'enfant et de la femme enceinte. Prévention et prise en charge médico-sociale, Lille, 2003.
41. Institut de veille sanitaire. Erratum concernant le guide méthodologique [29], 2004.
42. United States Environmental Protection Agency. Exposure factors handbook, 1999.
43. F. Gagnon *et al.* Etude sur les risques associés à la contamination chimique des mollusques. BISE vol 15, n°3-4, mai - août 2004.
44. F.Gagnon *et al.* Chemical risks associated with consumption of shellfish harvested on the north shore of the Saint Lawrence river's lower estuary. Environmental health perspectives, vol 112, n°8, p883-888, june 2004.
45. United States Environmental Protection Agency. IEUBK model mass fraction in soil in indoor dust. Guidance document. Technical review workgroup for lead, 1998.
46. United States Food and Drug Administration. Guidance for arsenic in shellfish, 1993
47. Circulaire du 10 décembre 1999 relative aux sites et sols pollués et aux principes de fixation des objectifs de réhabilitation.

Annexes





ANNEXE 1. TENEURS EN MÉTAUX LOURDS DES SOLS DES SITES DE L'ESCALETTE ET DE SAMÉNA

zone	n° échantillon	profondeur (cm)	arsenic	baryum	cadmium	chrome	cuivre	nickel	plomb	zinc
Plateforme Restaurant Escalette	S1.0	10	92	-	-	<	<	<	1 859	1 100
	S1.1	80	150	1 665	6	79	1 222	39	7 333	10 222
	S2.0	10	<	-	-	<	<	<	724	352
	S2.1	100	61	0	1	16	608	22	54	2457
	S3.0	10	<	-	-	<	<	<	362	321
	S3.1	100	166	198	7	41	2 288	42	20 800	26 000
	S4.0	10	<	-	-	<	<	<	146	<
	S4.1	100	91	161	33	13	375	16	8 774	4 601
	S5.0	10	55	-	-	<	<	<	633	325
S5.1	80	6 270	275	6	17	24 200	704	57 200	8 140	
Allée nord Escalette	S6.0	10	309	-	-	<	<	<	3109	1020
	S6.1	30	1 836	281	29	19	724	19	15 120	1 944
	S7.0	10	503	-	-	<	335	<	13 389	2 530
	S7.1	100	749	208	5	19	354	23	28 080	1 352
	S8.0	10	449	-	-	<	412	<	7 059	2 010
Plateforme Usine Escalette	S8.1	70	139	55	1	7	22	7	1 605	375
	S9.0	10	362	-	-	<	710	<	6 307	3 658
	S9.1	100	198	121	2	20	176	17	13 750	1 210
	S10.0	10	<	-	-	<	420	<	4 170	2 610
	S10.1	100	913	121	10	77	143	22	10 340	176
	S11.0	10	451	-	-	<	415	<	8 128	3 290
	S11.1	70	122	153	5	10	112	11	8 466	581
	S12.0	10	743	-	-	<	1 590	<	5 450	9 037
	S12.1	30	995	1 070	20	24	3 424	63	98 440	7 597
	S13.0	10	1 009	-	-	<	958	<	15 590	8 026
	S13.1	100	135	245	4	20	172	16	4 428	3 075
	S14.0	10	1 120	-	-	<	4 278	<	26 099	23 795
	S14.1	100	651	1 680	11	37	3 360	70	84 000	64 050
	S15.0	10	887	-	-	<	850	<	14 400	15 488
	S15.1	50	430	5	13	51	5 800	180	17 000	34 000
	S16.0	10	1779	-	-	<	1 260	<	19 098	18 495
	S16.1	100	321	1 284	7	28	2 996	41	35 310	21 400
	S17.0	10	<	-	-	<	1 640	<	18 100	16 589
S17.1	100	281	2 160	6	30	1 296	38	23 760	11 880	
S18.0	10	1929	-	-	<	1 789	<	23 693	44 877	
S18.1	100	695	570	8	27	2 052	70	33 060	13 680	
Maisons Escalette	S1	30	<	-	-	-	-	-	3 511	2 775
	S2	30	<	-	-	-	-	-	3 275	1 700
	S3	30	<	-	-	-	-	-	2 975	1 735
	S4	30	<	-	-	-	-	-	4 725	2 950
	S5	30	280	-	-	-	-	-	2 725	2 100
Plage Saména	1	*	423	688	53	88	59	246	449	2 010
	2	*	<20	222	<2	38	32	47	<10	36
	3	*	1 273	278	12	16	13	<10	2 153	1 039
	4	*	2 024	814	3	25	44	41	894	278
	5	*	454	408	6	26	56	26	1 497	1 062
	1	*	1 000	-	3,3	16	24	9	1 500	270
	2	*	32	-	<0,1	23	26	24	14	20
	3	*	2 000	-	3,8	12	8	5,7	4 300	500
	4	*	1 900	-	0,6	10	11	4,4	2 800	210
	5	*	490	-	15	16	70	16	2 600	4 700
6 (eau)	*	110	-	2,4	6,2	6,2	7,8	220	1 200	
7 (plage)	*	16	-	0,5	4,6	4,6	7	81	320	
8 (pied)	*	14	-	0,1	7	4,9	9,8	33	110	

* prélèvement réalisé par rainurage à la main après élimination des couches superficielles

ANNEXE 2. TENEURS EN ARSENIC ET PLOMB DANS LES MOULES ET OURSINS

		Oursins					Moules		
Plomb	N°	site	mg/kg sec	% eau	mg/kg humide		mg/kg sec	% eau	mg/kg humide
	1	Callelongue	2,65	76,90	0,61		0,36	76,7	0,08
	2	Cap Croisette	2,45	77,80	0,54		0,41	76,6	0,10
	3	Anse des Goudes	3,00	81,80	0,55		0,25	76,2	0,06
	4	Tiboulou du Maire	1,62	82,60	0,28		0,74	76,9	0,17
	5	Calanque Blanche	75,20	81,60	13,84		-	-	-
	6	Escalette 1	70,60	-	14,12		5,1	-	-
	7	Escalette 2	69,60	-	13,92		5,3	-	-
	8	Escalette 3	24,40	-	4,88		4,5	-	-
	9	Legré mante 1	43,60	78,10	9,55		-	-	-
	10	Legré mante 2	14,10	76,60	3,30		-	-	-
Arsenic	N°	site	mg/kg sec	% eau	mg/kg humide		mg/kg sec	% eau	mg/kg humide
	1	Callelongue	2,20	76,90	0,51		26	76,7	6,06
	2	Cap Croisette	11,70	77,80	2,60		26,2	76,6	6,13
	3	Anse des Goudes	15,90	81,80	2,89		26,2	76,2	6,24
	4	Tiboulou du Maire	15,10	82,60	2,63		25,4	76,9	5,87
	5	Calanque Blanche	14,90	81,60	2,74		-	-	-
	6	Escalette 1	5,10	-	-		1,7	-	-
	7	Escalette 2	7,00	-	-		1,7	-	-
	8	Escalette 3	5,60	-	-		1,6	-	-
	9	Legré mante 1	14,00	78,10	3,07		-	-	-
	10	Legré mante 2	9,00	76,60	2,11		-	-	-

Seuil du règlement Européen pour les denrées alimentaires :	1,5 mg/kg humide		
Moyenne RNO (moules) Méditerranée 2003 :	2,62mg/kg sec		
Moyenne Rinbio pour Pb :	1mg/kg sec		(moules)
Moyenne Rinbio pour As :	20 mg/kg sec		(moules)

Source : Service maritime des Bouches-du-Rhône

ANNEXE 3. COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL ET CALENDRIER DES RÉUNIONS

Le groupe de travail était composé des institutions et services suivants :

- l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa)
- la Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud (Cire Sud)
- le Conseil général des Bouches-du-Rhône (associé à la dernière réunion)
- la Direction départementale des affaires maritimes (Ddam) des Bouches-du-Rhône
- la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (Ddass) des Bouches-du-Rhône
- la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (Drire) de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur
- l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer)
- l'Institut de veille sanitaire (InVS)
- le Service communal d'hygiène et de santé de la ville de Marseille
- le Service maritime des Bouches-du-Rhône

Le groupe s'est réuni à trois reprises :

- le 27 juillet 2004, afin d'obtenir les informations nécessaires pour répondre à la saisine du préfet de région ;
- le 11 octobre 2004, afin de faire le bilan des données disponibles et de fixer les objectifs de l'étude confiée à la Cire Sud ;
- le 3 février 2005, afin de présenter les résultats de l'évaluation des risques sanitaires réalisée par la Cire Sud, et de proposer des recommandations en terme de gestion du risque sanitaire et environnemental.

ANNEXE 4. ÉVOLUTION DES DOSES HEBDOMADAIRES DE PLOMB INGÉRÉ EN FONCTION DES SCÉNARIOS D'EXPOSITION

Tableau 1. Facteurs d'exposition utilisés pour la fréquentation de la plage de Saména

		Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
Enfant de 2 ans	Temps d'expo par 1/2 journée (h)	4	4	4
	Quantité ingérée (mg/h)	20	20	80
	Teneur en plomb (mg/kg)	1 196	4 300	1 196
Enfant de 6 ans	Temps d'expo par 1/2 journée (h)	4	4	4
	Quantité ingérée (mg/h)	10	10	40
	Teneur en plomb (mg/kg)	1 196	4 300	1 196

Tableau 2. Dose hebdomadaire de plomb ingéré par un enfant de 2 ans, suivant la fréquentation de la plage de Saména

Dose hebdomadaire de plomb ingéré (µg/semaine)			
Fréquentation *	Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
1	95,68	344,00	382,72
2	191,36	688,00	765,44
3	287,04	1 032,00	1 148,16
10	956,80	3 440,00	3 827,20
12	1 148,16	4 128,00	4 592,64
13	1 243,84	4 472,00	4 975,36

* fréquentation en nombre de ½ journées par semaine

Il faut ajouter à cette exposition environnementale, la dose hebdomadaire liée à l'alimentation, estimée à 210 µg/semaine.

Tableau 3. Dose hebdomadaire de plomb ingéré par un enfant de 6 ans, suivant la fréquentation de la plage de Saména

Dose hebdomadaire de plomb ingéré (µg/semaine)			
Fréquentation*	Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
1	47,84	172,00	191,36
2	95,68	344,00	382,72
4	191,36	688,00	765,44
5	239,20	860,00	956,80

* fréquentation en nombre de ½ journées par semaine

Il faut ajouter à cette exposition environnementale, la dose hebdomadaire liée à l'alimentation, estimée à 245 µg/semaine.

Tableau 4. Calcul des doses de plomb ingéré par nombre de moules ou d'oursins consommés

		Zone Nord	Zone Sud	Ensemble
Oursins	Teneur en plomb (mg/kg frais)	11,7	0,5	4,1
	Poids oursin (g frais)	3,0	3,0	3,0
	Plomb ingéré par oursins (µg)	35,1	1,5	12,3
Moules	Teneur en plomb (mg/kg frais)	1,17	0,09	0,17
	Poids moule (g humide)	1,63	1,63	1,63
	Plomb ingéré par moule (µg)	1,91	0,15	0,28

Tableau 5. Dose hebdomadaire de plomb ingéré par les adultes et les enfants, suivant l'âge, le nombre d'oursins consommés par semaine et leur provenance

	Nombre d'oursins consommés par semaine	Plomb ingéré par semaine (µg)		
		Zone Nord	Zone Sud	Ensemble
Enfant < 2 ans	7	245,7	10,5	86,1
	19	666,9	28,5	233,7
	26	912,6	39,0	319,8
	72	2 527,2	108,0	885,6
	152	5 335,2	228,0	1 869,6
	590	20 709,0	885,0	7 257,0
Enfant < 6 ans	6	210,6	9,0	73,8
	16	561,6	24,0	196,8
	25	877,5	37,5	307,5
	69	2 421,9	103,5	848,7
	129	4 527,9	193,5	1 586,7
	566	19 866,6	849,0	6 961,8
Adultes	40	1 404,0	60,0	492,0
	114	4 001,4	171,0	1 402,2
	140	4 914,0	210,0	1 722,0
	399	14 004,9	598,5	4 907,7
	933	32 748,3	1 399,5	11 475,9
	3 267	114 671,7	4 900,5	40 184,1

A ces doses, il faut ajouter les doses hebdomadaires liées à l'alimentation générale, estimées à :

- 210 µg/semaine pour les enfants de moins de 2 ans ;
- 245 µg/semaine pour les enfants de 2 à 6 ans ;
- 350 µg/semaine pour les adultes.

Tableau 6. Dose hebdomadaire de plomb ingéré par les adultes et les enfants suivant l'âge, le nombre de moules consommées par semaine et leur provenance

	Nombre de moules consommées par semaine	Plomb ingéré par semaine (µg)		
		Zone Nord	Zone Sud	Ensemble
Enfant < 2 ans	120	228,8	17,6	33,2
	464	884,9	68,1	128,6
	821	1 565,7	120,4	227,5
	1 550	2 956,0	227,4	429,5
	3 189	6 081,7	467,8	883,7
	6 023	11 486,5	883,6	1 669,0
Enfant < 6 ans	101	192,6	14,8	28,0
	445	848,7	65,3	123,3
	694	1 323,5	101,8	192,3
	1 311	2 500,2	192,3	363,3
	3 063	5 841,4	449,3	848,8
	5 785	11 032,6	848,7	1 603,0
Adultes	734	1 399,8	107,7	203,4
	2 569	4 899,3	376,9	711,9
	5 050	9 630,8	740,8	1 399,3
	9 538	18 189,9	1 399,2	2 643,0
	17 680	33 717,5	2 593,7	4 899,1
	33 396	63 689,5	4 899,2	9 254,0

A ces doses, il faut ajouter les doses hebdomadaires liées à l'alimentation générale, estimées à :

- 210 µg/semaine pour les enfants de moins de 2 ans ;
- 245 µg/semaine pour les enfants de 2 à 6 ans ;
- 350 µg/semaine pour les adultes.

ANNEXE 5. EVOLUTION DES PLOMBÉMIES ATTENDUES SUIVANT LES SCÉNARIOS D'EXPOSITION

Tableau 7. Evolution des plombémies attendues ($\mu\text{g/l}$) en fonction de la fréquentation hebdomadaire de la plage de Saména et de l'âge des enfants

	Fréquentation *	Estimation moyenne	Environnement défavorable	Comportement défavorable
Enfant < 2 ans	1	70	127	135
	2	92	205	223
	3	114	284	310
	10	267	834	923
	12	310	992	1 098
	13	332	1 070	1 185
Enfant < 6 ans	1	67	95	100
	2	78	135	143
	4	100	213	231
	5	111	253	275

* fréquentation en nombre de $\frac{1}{2}$ journées par semaine

Tableau 8. Evolution de la plombémie attendue ($\mu\text{g/l}$) en fonction de la consommation hebdomadaire d'oursins, suivant leur provenance et l'individu

	Nombre d'oursins par semaine	Zone Nord	Zone Sud	Ensemble
Enfant < 2 ans	7	104,2	50,4	67,7
	19	200,4	54,5	101,4
	26	256,6	56,9	121,1
	72	625,6	72,7	250,4
	152	1 267,5	100,1	475,3
	590	4 781,5	250,3	1 706,7
Enfant < 6 ans	6	104,1	58,1	72,9
	16	184,4	61,5	101,0
	25	256,6	64,6	126,3
	69	609,6	79,7	250,0
	129	1 090,9	100,2	418,7
	566	4 596,9	250,1	1 647,3
Adulte	40	100,2	23,4	48,1
	114	248,7	29,8	100,1
	140	300,8	32,0	118,4
	399	820,3	54,2	300,4
	933	1 891,3	100,0	675,8
	3 267	6 572,7	300,0	2 316,2

Tableau 9. Evolution de la plombémie attendue ($\mu\text{g/l}$) en fonction de la consommation hebdomadaire de moules, suivant leur provenance et l'individu

	Nombre de moules consommées/semaine	Zone Nord	Zone Sud	Ensemble
Enfant < 2 ans	120	100,3	52,0	55,6
	464	250,3	63,6	77,4
	821	405,9	75,5	100,0
	1 550	723,7	100,0	146,2
	3 189	1 438,1	154,9	250,0
	6 023	2 673,5	250,0	429,5
Enfant < 6 ans	101	100,0	59,4	62,4
	445	250,0	70,9	84,2
	694	358,5	79,3	100,0
	1 311	627,5	100,0	139,0
	3 063	1 391,2	158,7	250,0
	5 785	2 577,7	250,0	422,4
Adulte	734	100,0	26,2	31,6
	2 569	300,0	41,5	60,7
	5 050	570,3	62,3	100,0
	9 538	1 059,4	100,0	171,0
	17 680	1 946,7	168,2	300,0
	33 396	3 659,4	300,0	548,8

ANNEXE 6. DÉTAIL DES CALCULS DE LA DOSE JOURNALIÈRE D'EXPOSITION À L'ARSENIC INORGANIQUE, PAR INGESTION DE MOULES ET D'OURSINS

Tableau 10. Doses journalières d'exposition à l'arsenic inorganique pour les enfants et les adultes, suivant le nombre de repas annuel contenant des oursins

		Adulte	Enfant < 6 ans
Nombre de repas par an contenant des oursins	Teneur en arsenic (mg/kg frais)		2,35
	Teneur en arsenic inorganique (mg/kg frais)		0,235
	Poids oursin (g frais)		3
	Arsenic inorganique ingéré par oursins (µg)		0,705
15 repas	Arsenic inorganique ingéré par repas (µg)	8,46	2,82
	Arsenic inorganique ingéré par an (µg)	126,9	42,3
	DJE (µg/kg/j)	0,005	0,007
35 repas	Arsenic inorganique ingéré par an (µg)	296,1	98,7
	DJE (µg/kg/j)	0,01	0,02
55 repas	Arsenic inorganique ingéré par an (µg)	465,3	155,1
	DJE (µg/kg/j)	0,02	0,03

Tableau 11. Doses journalières d'exposition à l'arsenic inorganique pour les enfants et les adultes suivant le nombre de repas annuel contenant des moules

		Adulte	Enfant < 6 ans
Nombre de repas par an contenant des moules	Teneur en arsenic (mg/kg frais)		5,86
	Teneur en arsenic inorganique (mg/kg frais)		0,586
	Poids moule (g frais)		1,63
	Arsenic inorganique ingéré par moule (µg)		0,96
15 repas	Arsenic inorganique ingéré par repas (µg)	47,76	19,10
	Arsenic inorganique ingéré par an (µg)	716,4	286,5
	DJE (µg/kg/j)	0,028	0,047
35 repas	Arsenic inorganique ingéré par an (µg)	1 671,6	668,6
	DJE (µg/kg/j)	0,07	0,11
55 repas	Arsenic inorganique ingéré par an (µg)	2 626,7	1 050,7
	DJE (µg/kg/j)	0,10	0,17

Présence de plomb et d'arsenic sur le littoral sud de Marseille : une étude de santé (juillet 2005)

Le littoral sud de Marseille a été le siège d'une activité industrielle importante, au cours du XIX^e siècle, qui a occasionné des pollutions des sols et du milieu marin.

Le 15 juillet 2004, le Préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur saisissait l'Institut de veille sanitaire pour la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires. Cette étude était confiée à la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) Sud.

L'objectif de cette étude de santé publique était d'apporter les éléments décisionnels nécessaires, d'un point de vue sanitaire, à la prise en charge environnementale et sanitaire de la population.

Une évaluation des risques sanitaires a été menée, à partir des données existantes, pour les deux polluants retrouvés en plus grande quantité dans l'environnement, et dont les impacts sur la santé sont bien décrits dans la littérature : le plomb et l'arsenic. L'exposition de la population sur les sites les plus fréquentés de la zone polluée (zones de résidence et plages), et la consommation de moules et oursins pêchés sur cette zone du littoral, ont été étudiées.

Les principaux résultats de l'évaluation indiquent que les jeunes enfants qui résident sur le site de l'Escalette ou fréquentent la plage de Saména encourent un risque sanitaire, principalement dû à l'ingestion de terre ou de sable pollué. Les risques sanitaires concernent également la consommation par les adultes ou les enfants des oursins et des moules contaminés pêchés localement.

Ces résultats ont amené l'Institut de veille sanitaire à proposer des actions de santé publique destinées à une prise en charge médicale des populations et une réduction de leurs expositions :

- mise en place d'un dépistage du saturnisme infantile, au minimum sur la zone de l'Escalette (risque lié au plomb), et d'une information du corps médical local ;
- réhabilitation des sites pollués en priorisant les sites habités et fréquentés par des usagers ;
- fermeture de la plage de Saména s'il n'est pas possible de la dépolluer avant l'été 2005 ;
- interdiction de pêche et de consommation des oursins ; la pêche aux moules étant déjà interdite sur cette zone de la côte.

Arsenic and lead on the southern littoral of Marseille: an health study (July 2005)

The southern littoral of Marseille was the place of an important industrial activity during the 19th century which contaminated lands and marine environment.

On July 15th, 2004, the Prefect of the PACA region asked the French Institute for Public Health Surveillance to carry out an health study, which was finally conducted by the Southern interregional epidemiology unit.

The aim of this study was to obtain the decisional elements, from a health point of view, for the environmental and health management in order to protect the population.

A risk assesment study was carried out using existing data for the two pollutants found in greater quantities in the environment and whose impacts on health are well documented in the literature: lead and arsenic. Population exposure on the busiest sites of the contaminated zone (residential areas and beaches) and the consumption of mussels and sea urchins fished on this part of the littoral were studied.

Major results of the assesment indicate that young children's health could be affected by living on the Escalette site or by frequenting the Saména beach, mainly due to contaminated sand or soils ingestion. Health impacts are also associated with the consumption by adults or children of contaminated sea urchins and mussels fished locally.

These results led the French Institute for Public Health Surveillance to suggest public health actions for the medical care of the population and the reduction of their exposure:

- screening young children for lead poisoning, at least on the Escalette site (risk related to lead) and an information campaign for local general practitioners;*
- the remediation of contaminated areas, first and foremost for inhabited and frequented sites;*
- the closing of the Saména beach if it is not possible to clean it before the summer 2005;*
- the banning of fishing and consumption of sea urchins; gathering of mussels being already prohibited on this zone of the coast.*