

Sur les deux années de référence, seules les PM<sub>2,5</sub> ont un quotient de danger supérieur à un dixième de la valeur repère soit 0,1.

Conformément à la méthodologie préconisée dans le guide INERIS, nous avons sommé les quotients de danger en fonction des organes cibles.

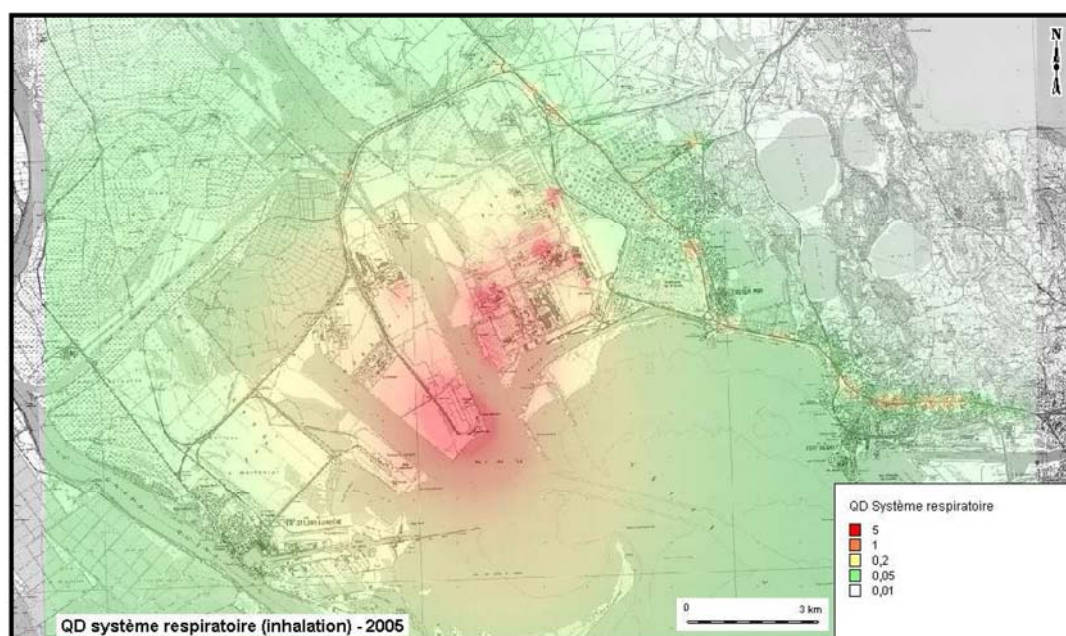
Aucun quotient de danger n'est supérieur à la valeur seuil de 1.

Le risque le plus élevé au niveau du récepteur le plus exposé (R2) concerne le système respiratoire avec un quotient de danger de 0,38 en 2005 et 0,39 en 2011, valeurs inférieures mais représentant néanmoins 1/3 de la valeur repère de 1.

Les polluants déterminants du risque global sont les PM<sub>2,5</sub> et le manganèse qui participent respectivement à 74% et 12% du risque. Les autres polluants participant au risque de façon mineure sont le nickel, le chlore et le naphthalène qui participent chacun à 3% du risque.

A titre informatif, la carte de quotient de danger pour le système respiratoire sur l'année 2005 est présentée ci-après :

**Figure 25 : QD respiratoire 2005 – voie inhalation**



Le quotient de danger respiratoire dépasse la valeur repère de 1 sur le domaine d'étude hors périmètre des sites. La zone de dépassement est cependant peu étendue et reste dans les délimitations de la ZIP (entre la darse 1 et la darse 2 et entre la darse 2 et la darse 3), sur des terrains non habités.

Les quotients de danger pour les autres organes cibles, sur le domaine d'étude et hors périmètre des sites, ne dépassent pas la valeur repère de 1.

**Pour le risque chronique non cancérigène par inhalation, compte tenu des niveaux de risque pour le système respiratoire proches de la valeur repère de 1, nous ne pouvons conclure sans discussion des incertitudes de l'étude.**

La discussion des incertitudes de cette partie est réalisée au §. 7 : Incertitudes, sensibilité et discussion.

#### 6.4.2.2 Exposition par ingestion

Les effets toxiques non cancérogènes par ingestion des polluants émis par la ZIP de Fos-sur-Mer sont présentés dans les figures et tableaux suivants.

L'ensemble des résultats aux récepteurs par polluants et par organes cibles, pour les deux scénarios « majorant » et « moyen » sont présentés en annexe 15.

Le scénario « majorant » est uniquement modélisé pour l'année 2005.

Les cartes de résultats des quotients de danger par organe cible et des quotients de danger des polluants déterminants du risque sont présentées en annexe 17.

Le tableau suivant rappelle pour chaque organe cible la liste des polluants générant des effets et pris en compte dans le cumul des QD :

**Tableau 38 : Synthèse des effets toxiques non cancérogènes – Ingestion**

| Organes cibles              | Substances                            |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| Système cutané              | Arsenic, dioxines                     |
| Système rénal               | Cadmium, Mercure, Nickel, Plomb       |
| Système respiratoire        | Antimoine, Chrome VI, dioxines        |
| Système nerveux             | Mn sol, Mn vx, Mercure, Plomb         |
| Système sanguin             | Antimoine, Arsenic, Plomb, Naphtalène |
| Effets sur le développement | Plomb, dioxines                       |
| Système hépatique           | Antimoine, dioxines                   |
| système immunitaire         | dioxines                              |
| système oculaire            | Naphtalène                            |
| système cardio-vasculaire   | Antimoine, Arsenic, Cobalt            |
| système gastro-intestinal   | Antimoine                             |

#### Ingestion de sol, végétaux, viande de mouton et œuf

Le tableau ci-dessous présente le quotient de danger par substance pour le récepteur le plus impacté dans le cas du scénario "moyen".



Tableau 39 : QD au récepteur le plus impacté – Ingestion de sol, végétaux, mouton et œuf - scénario moyen

| Polluants |                                | VTR<br>(mg/kg/j) | QD ingestion sol, végétaux, mouton et œuf – Scénario moyen |                   |                    |          |                   |                    | récepteur<br>le plus<br>impacté<br>adulte |
|-----------|--------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|----------|-------------------|--------------------|-------------------------------------------|
|           |                                |                  | 2005                                                       |                   |                    | 2011     |                   |                    |                                           |
|           |                                |                  | Adulte                                                     | Enfant 2-7<br>ans | Enfant 7-12<br>ans | Adulte   | Enfant 2-7<br>ans | Enfant 7-12<br>ans |                                           |
|           | Antimoine                      | 0,0004           | 1,90E-04                                                   | 1,97E-03          | 9,95E-04           | 2,65E-04 | 2,76E-03          | 1,39E-03           | R2                                        |
|           | Arsenic                        | 0,0003           | 1,29E-04                                                   | 1,49E-03          | 7,50E-04           | 1,48E-04 | 1,71E-03          | 8,58E-04           | R2                                        |
|           | Cadmium                        | 0,001            | 5,69E-05                                                   | 4,76E-04          | 2,42E-04           | 1,02E-04 | 8,55E-04          | 4,37E-04           | R2                                        |
|           | Chrome VI                      | 0,003            | 6,26E-06                                                   | 7,35E-05          | 3,66E-05           | 6,74E-06 | 7,88E-05          | 3,93E-05           | R2                                        |
|           | Cobalt                         | 0,0014           | 6,54E-06                                                   | 7,81E-05          | 3,90E-05           | 2,64E-05 | 3,14E-04          | 1,57E-04           | R2                                        |
|           | Mn sol                         | 0,046            | 9,17E-06                                                   | 1,10E-04          | 5,50E-05           | 9,17E-06 | 1,10E-04          | 5,50E-05           | R2                                        |
|           | Mn vx                          | 0,14             | 1,36E-05                                                   | 3,46E-05          | 2,13E-05           | 1,36E-05 | 3,46E-05          | 2,13E-05           | R2                                        |
|           | Mercuré                        | 0,0003           | 5,48E-05                                                   | 5,83E-04          | 2,94E-04           | 1,75E-04 | 1,86E-03          | 9,39E-04           | R2                                        |
|           | Nickel                         | 0,02             | 2,20E-05                                                   | 2,53E-04          | 1,27E-04           | 2,22E-06 | 2,55E-05          | 1,28E-05           | R9                                        |
|           | Plomb                          | 0,0035           | 6,87E-05                                                   | 7,80E-04          | 3,90E-04           | 1,30E-04 | 1,47E-03          | 7,39E-04           | R2                                        |
|           | dioxines                       | 0,000000001      | 6,80E-03                                                   | 1,86E-02          | 1,27E-02           | 8,34E-03 | 2,28E-02          | 1,57E-02           | R4 / R2                                   |
|           | Naphtalène                     | 0,02             | 9,91E-04                                                   | 5,16E-03          | 2,75E-03           | 1,00E-03 | 5,21E-03          | 2,78E-03           | R4                                        |
|           | Valeur Repère                  |                  |                                                            |                   |                    |          |                   |                    |                                           |
|           | QD Système cutané              | 1                | 0,007                                                      | 0,02              | 0,013              | 0,008    | 0,025             | 0,017              | R4 / R2                                   |
|           | QD Système rénal               | 1                | 0,0002                                                     | 0,002             | 0,001              | 0,0004   | 0,004             | 0,002              | R2                                        |
|           | QD Système respiratoire        | 1                | 0,007                                                      | 0,02              | 0,013              | 0,009    | 0,026             | 0,017              | R4 / R2                                   |
|           | QD Système nerveux             | 1                | 0,0001                                                     | 0,002             | 0,001              | 0,0003   | 0,003             | 0,002              | R2                                        |
|           | QD Système sanguin             | 1                | 0,001                                                      | 0,009             | 0,005              | 0,001    | 0,011             | 0,005              | R2                                        |
|           | QD Effets sur le développement | 1                | 0,007                                                      | 0,019             | 0,013              | 0,008    | 0,024             | 0,016              | R4 / R2                                   |
|           | QD Système hépatique           | 1                | 0,007                                                      | 0,02              | 0,013              | 0,009    | 0,026             | 0,017              | R4 / R2                                   |
|           | QD système immunitaire         | 1                | 0,007                                                      | 0,019             | 0,013              | 0,008    | 0,023             | 0,016              | R4 / R2                                   |
|           | QD système oculaire            | 1                | 0,001                                                      | 0,005             | 0,003              | 0,001    | 0,005             | 0,003              | R4                                        |
|           | QD système cardio-vasculaire   | 1                | 0,0003                                                     | 0,004             | 0,002              | 0,0004   | 0,005             | 0,002              | R2                                        |
|           | QD système gastro-intestinal   | 1                | 0,0002                                                     | 0,002             | 0,001              | 0,0003   | 0,003             | 0,001              | R2                                        |
|           | QD sommé                       | 1                | 0,008                                                      | 0,028             | 0,017              | 0,010    | 0,037             | 0,023              | R4 / R2                                   |

Pour le scénario moyen, les récepteurs les plus impactés sont selon les polluants et les organes cibles : R2, R9, et R4. Le récepteur majoritairement impacté étant R2, à proximité de la plage Nord sur la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

Toutes les substances ont un quotient de danger inférieur à 1.

Le quotient de danger, pour l'année 2005, au récepteur le plus impacté, varie de 0,019 à  $6.10^{-6}$  respectivement pour les dioxines en R4 (enfant de 2 à 7 ans) et pour le chrome VI en R2 (adulte).

Compte tenu des quantités ingérées, des périodes d'exposition et du poids des récepteurs, le scénario enfant 2-7ans présente les risques les plus élevés, suivi de l'enfant entre 7 et 12 ans et d'un adulte.

D'une manière générale, les quotients de danger pour l'année 2011 sont du même ordre de grandeur, mais augmentent légèrement. Le quotient de danger maximum est de 0,023 pour les dioxines au récepteur R2.

Pour les dioxines, la contribution de la voie d'exposition à la dose moyenne d'exposition exprimée en pourcentage au récepteur le plus impacté est présentée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 40 : Contribution de la voie d'exposition à la dose d'exposition exprimée en pourcentage au récepteur le plus impacté**

| Voie d'exposition | Sol  | Végétaux | Œuf  | Mouton |
|-------------------|------|----------|------|--------|
| Dioxines          | 13 % | 13 %     | 71 % | 4 %    |

Ainsi, l'ingestion d'œuf contribue à 71 % de la dose moyenne d'exposition.

Conformément à la méthodologie préconisée dans le guide INERIS, nous avons sommé les quotients de danger en fonction des organes cibles.

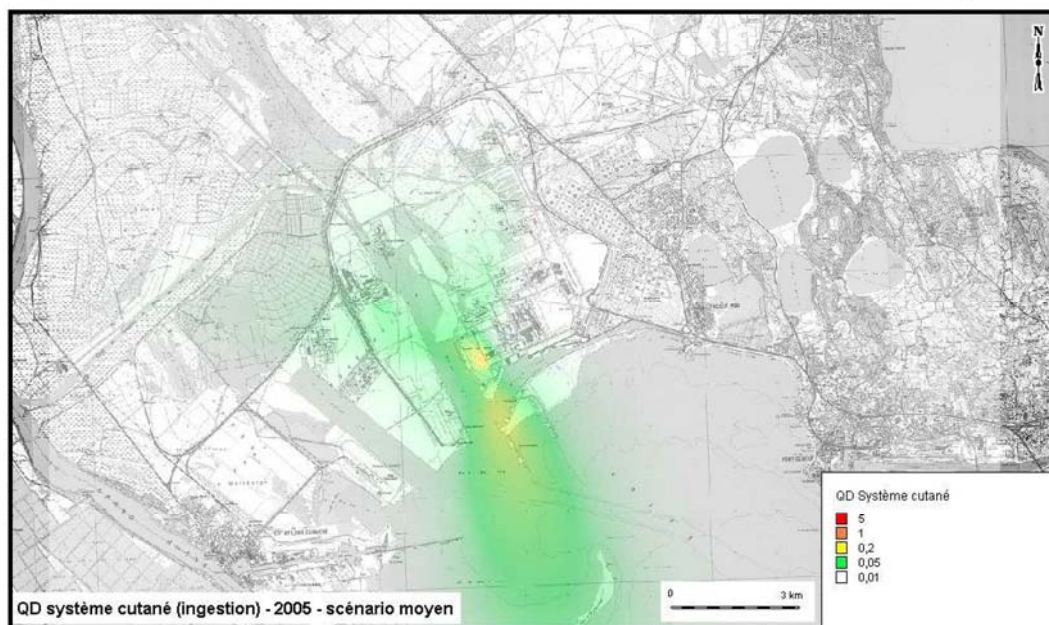
Aucun quotient de danger n'est supérieur à la valeur seuil de 1.

Le risque le plus élevé au niveau du récepteur le plus exposé (R4) concerne les systèmes cutané, respiratoire, immunitaire, hépatique et les effets sur le développement avec un quotient de danger de 0,02 en 2005 et 0,026 en 2011.

Le polluant déterminant du risque global est les dioxines qui participent à 84% du risque. Les principaux autres polluants participant de façon mineure sont le naphthalène, l'arsenic et l'antimoine.

A titre informatif, la carte de quotient de danger pour le système cutané sur l'année 2005 est présentée ci-après :

**Figure 26 : QD cutané 2005 – voie ingestion – Scénario moyen**



Les quotients de danger, sur le domaine d'étude hors périmètre des sites, ne dépassent pas la valeur repère de 1.

Les résultats au récepteur le plus impacté pour le scénario majorant sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 41 : Quotients de danger pour le récepteur le plus impacté – Exposition par ingestion de sol, végétaux, viande de mouton et œuf, scénario majorant**

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| CAvA061299 – A.17689 – Rav01880f |            |
| NFL – OL – CLD                   |            |
| 06/05/2008                       | Page : 107 |

| Polluants                         | VTR<br>(mg/kg/j) | QD ingestion sol, végétaux, mouton et œuf –<br>Scénario majorant |                   |                    | récepteur<br>le plus<br>impacté<br>adulte |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------------|
|                                   |                  | 2005                                                             |                   |                    |                                           |
|                                   |                  | Adulte                                                           | Enfant 2-7<br>ans | Enfant 7-12<br>ans |                                           |
| Antimoine                         | 0,0004           | 2,74E-04                                                         | 2,18E-03          | 1,12E-03           | R2                                        |
| Arsenic                           | 0,0003           | 1,44E-04                                                         | 1,53E-03          | 7,74E-04           | R2                                        |
| Cadmium                           | 0,001            | 1,14E-04                                                         | 6,08E-04          | 3,21E-04           | R2                                        |
| Chrome VI                         | 0,003            | 6,74E-06                                                         | 7,47E-05          | 3,74E-05           | R2                                        |
| Cobalt                            | 0,0014           | 6,72E-06                                                         | 7,86E-05          | 3,93E-05           | R2                                        |
| Mn sol                            | 0,046            | 9,17E-06                                                         | 1,10E-04          | 5,50E-05           | R2                                        |
| Mn vx                             | 0,14             | 4,86E-05                                                         | 1,22E-04          | 7,50E-05           | R2                                        |
| Mercure                           | 0,0003           | 7,51E-05                                                         | 6,38E-04          | 3,29E-04           | R2                                        |
| Nickel                            | 0,02             | 2,51E-05                                                         | 2,61E-04          | 1,31E-04           | R9                                        |
| Plomb                             | 0,0035           | 8,11E-05                                                         | 8,09E-04          | 4,07E-04           | R2                                        |
| dioxines                          | 0,000000001      | 4,38E-02                                                         | 1,06E-01          | 7,61E-02           | R4                                        |
| Naphtalène                        | 0,02             | 2,84E-03                                                         | 9,49E-03          | 5,33E-03           | R4                                        |
|                                   | Valeur<br>Repère |                                                                  |                   |                    |                                           |
| QD Système cutané                 | 1                | 0,044                                                            | 0,107             | 0,077              | R4                                        |
| QD Système rénal                  | 1                | 0,0003                                                           | 0,002             | 0,001              | R2                                        |
| QD Système respiratoire           | 1                | 0,044                                                            | 0,107             | 0,077              | R4                                        |
| QD Système nerveux                | 1                | 0,0002                                                           | 0,002             | 0,001              | R2                                        |
| QD Système sanguin                | 1                | 0,003                                                            | 0,013             | 0,007              | R4                                        |
| QD Effets sur le<br>développement | 1                | 0,044                                                            | 0,107             | 0,077              | R4                                        |
| QD Système hépatique              | 1                | 0,044                                                            | 0,107             | 0,077              | R4                                        |
| QD système<br>immunitaire         |                  | 0,044                                                            | 0,106             | 0,076              | R4                                        |
| QD système oculaire               |                  | 0,003                                                            | 0,009             | 0,005              | R4                                        |
| QD système cardio-vasculaire      |                  | 0,0004                                                           | 0,004             | 0,002              | R2                                        |
| QD système gastro-intestinal      |                  | 0,0003                                                           | 0,002             | 0,001              | R2                                        |
| QD sommé                          | 1                | 0,047                                                            | 0,119             | 0,084              | R4                                        |

Pour le scénario majorant, toutes les substances et organes cibles ont des quotients de danger inférieurs à 1.

Le quotient de danger par substance, pour l'année 2005, au récepteur le plus impacté, varie de 0,1 à  $7.10^{-6}$  respectivement pour les dioxines (enfant de 2 à 7 ans) et pour le chrome VI (adulte).

Du fait des plus fortes quantités de végétaux, viande et œufs ingérés dans ce scénario, les quotients de danger de tous les polluants augmentent. On observe une variation supérieure à un facteur 2 pour les polluants suivants : le cadmium, le manganèse, les dioxines et le naphtalène.

La plus forte variation concerne les dioxines avec une augmentation du risque d'un facteur 6.

Les quotients de danger, non calculés pour l'année 2011, varient donc selon le même ordre de grandeur et restent par conséquent inférieurs à la valeur repère de 1.

Le risque le plus élevé, par organe cible, concerne les systèmes cutané, respiratoire, hépatique, immunitaire et les effets sur le développement en R4 avec un quotient de danger de 0,1. Le polluant déterminant du risque est les dioxines qui participent à 91% au risque global. Les principaux autres polluants participant au risque mais de façon mineure sont le naphtalène, l'arsenic et l'antimoine.

### Ingestion de poisson et coquillages

Le tableau ci-dessous présente le quotient de danger par substance et par organe cible pour un habitant de Port-Saint-Louis-du-Rhône, Port-de-Bouc ou Fos-sur-Mer, pêchant une partie de sa consommation de poisson dans le golfe de Fos.

On rappelle que le pourcentage d'autoconsommation pris en compte dans cette étude correspondant à un habitant des Bouches du Rhône d'une ville de 2 000 à 20 000 habitants. Il est de 6,87% (données CIBLEX).

**Tableau 42 : Quotients de danger par ingestion de poisson et coquillage**

| Polluants                      | VTR<br>(mg/kg/j) | QD ingestion de poisson              |                 |          |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------------|-----------------|----------|
|                                |                  | Enfant 2-7 ans                       | Enfant 7-12 ans | Adulte   |
| Cr VI                          | 3,00E-03         | 0,00013                              | 0,000077        | 0,000046 |
| Ni                             | 2,00E-02         | 0,00022                              | 0,00013         | 0,000080 |
| As inorg                       | 3,00E-04         | 0,64                                 | 0,38            | 0,23     |
| Cd                             | 1,00E-03         | 0,00050                              | 0,00030         | 0,00018  |
| Pb                             | 3,50E-03         | 0,00062                              | 0,00037         | 0,00022  |
| Hg                             | 3,00E-04         | 0,031                                | 0,018           | 0,011    |
| Polluants                      | VTR<br>(mg/kg/j) | QD ingestion de coquillage           |                 |          |
|                                |                  | Enfant 2-7 ans                       | Enfant 7-12 ans | Adulte   |
| Cr VI                          | 3,00E-03         | 0,00026                              | 0,00014         | 0,000081 |
| Ni                             | 2,00E-02         | 0,00041                              | 0,00025         | 0,00015  |
| As inorg                       | 3,00E-04         | 0,015                                | 0,0090          | 0,0054   |
| Cd                             | 1,00E-03         | 0,0021                               | 0,0013          | 0,00076  |
| Pb                             | 3,50E-03         | 0,0016                               | 0,00098         | 0,00059  |
| Hg                             | 3,00E-04         | 0,0034                               | 0,0021          | 0,0012   |
| Organes cibles                 | Valeur repère    | QD ingestion de poisson & coquillage |                 |          |
|                                |                  | Enfant 2-7 ans                       | Enfant 7-12 ans | Adulte   |
| QD système cutané              | 1                | 0,66                                 | 0,39            | 0,23     |
| QD système cardio-vasculaire   | 1                | 0,66                                 | 0,39            | 0,23     |
| QD système rénal               | 1                | 0,040                                | 0,024           | 0,014    |
| QD système respiratoire        | 1                | 0,00035                              | 0,00021         | 0,00013  |
| QD système nerveux             | 1                | 0,036                                | 0,022           | 0,013    |
| QD système sanguin             | 1                | 0,66                                 | 0,39            | 0,24     |
| QD effets sur le développement | 1                | 0,0022                               | 0,0013          | 0,0011   |

Toutes les substances ont un quotient de danger inférieur à 1.

Le quotient de danger de l'arsenic via l'ingestion de poisson varie entre 0,23 et 0,64 selon l'âge des personnes exposées. Ces quotients de danger sont proches de la valeur repère de 1.

Conformément à la méthodologie préconisée dans le guide INERIS, nous avons sommé les quotients de danger en fonction des organes cibles. Le quotient de danger maximum s'élève à 0,66 pour un enfant entre 2 et 7 ans, valeur proche la valeur repère de 1. Cette valeur est observée sur trois organes cibles : le système cutané, cardio-vasculaire et le système sanguin, correspondent aux trois organes cibles de l'arsenic.

### Ingestion de lait maternel

Le quotient de danger d'un nourrisson entre 0 et 6 mois, ingérant du lait maternel au récepteur le plus impacté par les dioxines, soit R4 est de 0,001, soit inférieur à la valeur repère de 1.

### Conclusion sur l'ingestion

Afin de caractériser le risque non cancérigène global par ingestion, nous avons sommé les différents QD par organe cible et par type de produit ingéré (sol, végétaux, mouton, œuf, poisson et coquillage).

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant, pour le scénario « moyen » sur l'année 2005 :

| Organes cibles                 | Valeur repère | QD ingestion global |                 |         |
|--------------------------------|---------------|---------------------|-----------------|---------|
|                                |               | Enfant 2-7 ans      | Enfant 7-12 ans | Adulte  |
| QD Système cutané              | 1             | 0,68                | 0,41            | 0,24    |
| QD Système rénal               | 1             | 0,042               | 0,025           | 0,014   |
| QD Système respiratoire        | 1             | 0,020               | 0,013           | 0,0070  |
| QD Système nerveux             | 1             | 0,038               | 0,023           | 0,013   |
| QD Système sanguin             | 1             | 0,67                | 0,40            | 0,24    |
| QD Effets sur le développement | 1             | 0,022               | 0,014           | 0,0077  |
| QD Système hépatique           | 1             | 0,020               | 0,013           | 0,0069  |
| QD système immunitaire         | 1             | 0,019               | 0,013           | 0,0068  |
| QD système oculaire            | 1             | 0,0052              | 0,0028          | 0,00099 |
| QD système cardio-vasculaire   | 1             | 0,66                | 0,40            | 0,24    |
| QD système gastro-intestinal   | 1             | 0,0020              | 0,0010          | 0,00019 |

Ainsi il apparaît que, comme précédemment, les trois QD proches de la valeur repère de 1 correspondent aux trois organes cibles de l'arsenic à savoir le système cutané, cardio-vasculaire et le système sanguin. Le quotient de danger maximum s'élève à 0,68 pour un enfant entre 2 et 7 ans.

**Pour le risque chronique non cancérigène par ingestion, compte tenu des niveaux de risque lié à l'ingestion de poisson et coquillage proches de la valeur repère de 1, nous ne pouvons conclure sans discussion des incertitudes de l'étude.**

La discussion des incertitudes de cette partie est réalisée au §.7 : Incertitudes, sensibilité et discussion. Elle montre notamment que la problématique liée à l'arsenic est récurrente pour l'ensemble de la côte méditerranéenne, et non pas uniquement sur le golfe de Fos.

### 6.4.3 Caractérisation du risque chronique pour les polluants sans seuil d'effet

#### 6.4.3.1 Exposition par inhalation

Les effets toxiques sans seuil par inhalation des polluants émis par la ZIP de Fos-sur-Mer sont présentés dans les figures et tableaux suivants.

L'ensemble des résultats aux récepteurs par polluants sont présentés en annexe 16.

Les cartes de résultats des ERI des polluants déterminants et de l'ERI sommé sont présentées en annexe 17.

Le tableau suivant présente l'excès de risque individuel par substance pour le récepteur le plus impacté.

**Tableau 43 : Excès de risque individuel pour le récepteur le plus impacté – Exposition par inhalation**

| Polluants               | VTR<br>(µg/m³) <sup>-1</sup> | ERI inhalation          |          |                         |          | récepteur<br>le plus<br>impacté |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|---------------------------------|
|                         |                              | 2005                    |          | 2011                    |          |                                 |
|                         |                              | Adulte /<br>Vie entière | Enfant   | Adulte /<br>Vie entière | Enfant   |                                 |
| Butadiène               | 3,00E-05                     | 4,59E-09                | 1,07E-09 | 4,32E-09                | 1,01E-09 | R2                              |
| Acétaldéhyde            | 2,70E-06                     | 3,08E-08                | 7,20E-09 | 3,05E-08                | 7,11E-09 | R4                              |
| Acrylonitrile           | 6,80E-05                     | 1,79E-08                | 4,17E-09 | 1,74E-08                | 4,06E-09 | R2                              |
| Benzène                 | 6,00E-06                     | 3,30E-07                | 7,71E-08 | 3,15E-07                | 7,35E-08 | R9                              |
| Chlorure de<br>Vinyle   | 1,00E-06                     | 7,91E-09                | 1,85E-09 | 8,01E-09                | 1,87E-09 | R2                              |
| Dichloroéthane          | 2,60E-05                     | 3,00E-06                | 7,01E-07 | 2,98E-06                | 6,96E-07 | R2                              |
| Oxyde d<br>éthylène     | 2,30E-05                     | 5,22E-09                | 1,22E-09 | 5,22E-09                | 1,22E-09 | R2                              |
| MTBE                    | 2,60E-07                     | 1,29E-07                | 3,01E-08 | 1,22E-07                | 2,85E-08 | R2                              |
| Oxyde de<br>propylène   | 3,70E-06                     | 4,14E-08                | 9,65E-09 | 4,14E-08                | 9,65E-09 | R2                              |
| Formaldéhyde            | 1,30E-05                     | -                       | -        | 5,23E-09                | 1,22E-09 | R2                              |
| Arsenic                 | 1,50E-03                     | 1,08E-07                | 2,53E-08 | 1,19E-07                | 2,78E-08 | R1 / R2                         |
| Cadmium                 | 1,80E-03                     | 1,13E-07                | 2,63E-08 | 1,95E-07                | 4,55E-08 | R2                              |
| Chrome VI               | 4,00E-02                     | 1,48E-06                | 3,46E-07 | 1,59E-06                | 3,70E-07 | R2                              |
| Nickel                  | 3,80E-04                     | 2,52E-07                | 5,89E-08 | 2,56E-08                | 5,97E-09 | R9                              |
| Plomb                   | 1,20E-05                     | 4,62E-09                | 1,08E-09 | 7,57E-09                | 1,77E-09 | R4 / R2                         |
| HAP<br>(benzo(a)pyrène) | 1,10E-03                     | 1,29E-08                | 3,02E-09 | 1,29E-08                | 3,02E-09 | R4                              |
| Naphtalène              | 1,10E-06                     | 1,72E-08                | 4,00E-09 | 1,73E-08                | 4,04E-09 | R2                              |
|                         | Valeur<br>Repère             |                         |          |                         |          |                                 |
| ERIi sommé              | 10 <sup>-5</sup>             | 5,3E-06                 | 1,3E-06  | 5,3E-06                 | 1,2E-06  | R2                              |

Les récepteurs les plus impactés sont selon les polluants : R2, R9, R1 ou R4. La majeure partie d'entre eux se situent sur la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône, à proximité de la ZIP.

Toutes les substances ont un excès de risque individuel inférieur à  $10^{-5}$ .

L'excès de risque individuel par substance, pour l'année 2005, au récepteur le plus impacté, varie de  $3,0 \cdot 10^{-6}$  à  $1,1 \cdot 10^{-9}$  respectivement pour le dichloroéthane sur une vie entière et le butadiène pour un enfant.

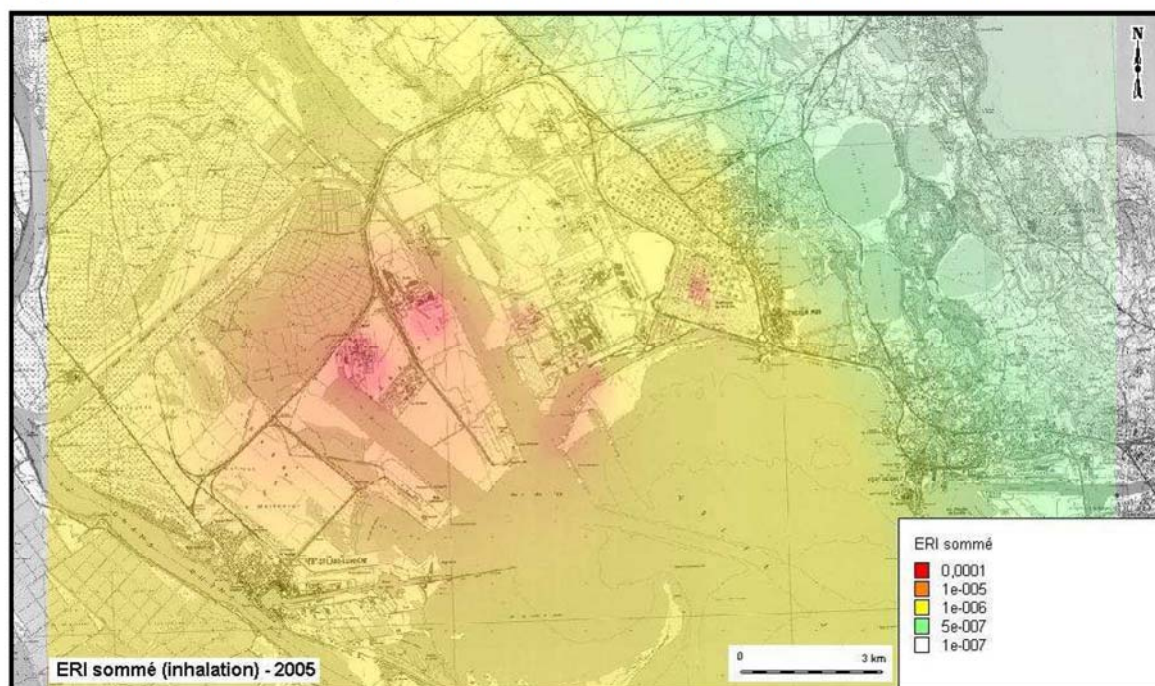
D'une manière générale, les excès de risque individuel pour l'année 2011 sont du même ordre de grandeur, mais diminuent légèrement. L'excès de risque individuel maximum est également de  $3 \cdot 10^{-6}$  pour le dichloroéthane au récepteur R2.

Sur les deux années de référence, seuls le dichloroéthane et le chrome VI ont un excès de risque individuel compris dans l'intervalle  $10^{-6}$ - $10^{-4}$ , intervalle où les incertitudes sont discutées.

Le risque cancérigène par inhalation est maximum au récepteur R2 avec un excès de risque individuel de  $5,3 \cdot 10^{-6}$  en 2005 et 2011, valeur comprise dans l'intervalle  $10^{-6}$ - $10^{-4}$ . Les polluants déterminants du risque sont le dichloroéthane et le chrome VI qui participent respectivement à 56% et 28% du risque global. Les autres polluants participant au risque de façon mineure sont le nickel et le benzène qui participent respectivement à 4% et 3% du risque global.

A titre informatif, la carte d'excès de risque individuel sommé sur l'année 2005 est présentée :

**Figure 27 : Excès de risque individuel sommé – voie inhalation**



L'excès de risque individuel sommé dépasse la valeur repère de  $10^{-5}$  sur le domaine d'étude hors périmètre des sites. La zone de dépassement est centrée autour de la darse 2 (environ  $20 \text{ km}^2$ ), sur des terrains non habités.

L'excès de risque individuel sommé compris dans l'intervalle  $10^{-6}$ - $10^{-5}$  s'étend sur la majeure partie du domaine d'étude, et en dehors des limites du domaine d'étude. La zone recouvre la ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône et en partie la ville de Fos-sur-Mer.

Le tableau suivant présente le nombre d'habitants concernés par un excès de risque compris entre  $10^{-4}$  et  $10^{-6}$ .

**Tableau 44 : Excès de risque individuel et nombre de personnes concernées**

|                                                     | Nombre d'habitants | Communes concernées                      |
|-----------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|
| <b><math>ERI &gt; 10^{-5}</math></b>                | 0                  | -                                        |
| <b><math>5.10^{-6} &lt; ERI &lt; 10^{-5}</math></b> | 577                | Port-Saint-Louis-du-Rhône                |
| <b><math>10^{-6} &lt; ERI &lt; 5.10^{-6}</math></b> | 12 780             | Port-Saint-Louis-du-Rhône<br>Fos-sur-Mer |

Ainsi, aucun habitant n'est concerné par un excès de risque supérieur à  $10^{-5}$ .

Près de 600 habitants de la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône ont un ERI compris entre  $5.10^{-6}$  et  $10^{-5}$ . Le reste des habitants, soit environ 7 500 habitants ont un ERI compris entre  $10^{-6}$  et  $5.10^{-6}$ .

Sur la commune de Fos-sur-Mer, seuls 5 240 habitants sur 14 000 ont un ERI compris entre  $10^{-6}$  et  $5.10^{-6}$ , soit 37 % de la population.

**Pour le risque chronique cancérigène par inhalation, compte tenu des niveaux de risque fréquents compris dans l'intervalle  $10^{-4}$ - $10^{-6}$ , nous ne pouvons conclure sans discussion des incertitudes de l'étude.**

La discussion des incertitudes de cette partie est réalisée au §. 7 : Incertitudes, sensibilité et discussion.

#### Excès de risque collectif sur la zone d'étude

L'excès de risque collectif est le produit de l'excès de risque individuel par l'effectif de la population sur le domaine d'étude. Il fournit une estimation du nombre de pathologies en excès susceptibles de se déclarer au cours de la vie de la population.

$$ERC = ERI \times n$$

Avec : ERI = Excès de risque individuel

n = effectif de la population sur le domaine d'étude

L'excès de risque individuel étant variable selon chaque point du domaine, il a fallu associer à chacun de ces points un nombre d'habitant résidant. Ce calcul a été réalisé à partir des données INSEE, ilots<sup>1</sup> par ilots, en faisant l'hypothèse d'une densité de population uniforme sur l'ensemble de l'ilot.

L'excès de risque collectif sur le domaine d'étude est de 0,061.

<sup>1</sup> L'ilot correspond à la plus petite échelle de recensement de la population existant auprès de l'INSEE

#### 6.4.3.2 Exposition par ingestion

Les effets toxiques sans seuil par ingestion des polluants émis par la ZIP de Fos-sur-Mer sont présentés dans les figures et tableaux suivants.

L'ensemble des résultats aux récepteurs par polluants, pour les deux scénarios « majorant » et « moyen » sont présentés en annexe 16.

On rappelle que le scénario « majorant » est uniquement modélisé pour l'année 2005.

La carte de résultat de l'ERI sommé est présentée en annexe 17.

#### Ingestion de sol, végétaux, viande de mouton et œuf

Le tableau suivant présente l'excès de risque individuel sommé et par substance pour le récepteur le plus impacté, dans le cas du scénario « moyen » et du scénario « majorant » :

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| CAvA061299 – A.17689 – Rav01880f |            |
| NFL – OL - CLD                   |            |
| 06/05/2008                       | Page : 114 |



Tableau 45 : Excès de risque individuel pour le récepteur le plus impacté – Exposition par ingestion

| Polluants             | VTR<br>(mg/kg/j) <sup>-1</sup> | ERI ingestion sol, végétaux, mouton et œuf – Scénario moyen |                   |                    |                |          |                   |                    |                | récepteur<br>le plus<br>impacté<br>adulte |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------------------------------|
|                       |                                | 2005                                                        |                   |                    |                | 2011     |                   |                    |                |                                           |
|                       |                                | Adulte                                                      | Enfant 2-7<br>ans | Enfant 7-12<br>ans | Vie<br>entière | Adulte   | Enfant 2-7<br>ans | Enfant 7-12<br>ans | Vie<br>entière |                                           |
|                       |                                |                                                             |                   |                    |                |          |                   |                    |                |                                           |
| Arsenic               | 1,5                            | 2,48E-08                                                    | 6,71E-08          | 5,29E-08           | 1,30E-07       | 2,86E-08 | 7,70E-08          | 6,06E-08           | 1,49E-07       | R2                                        |
| Plomb                 | 0,0085                         | 8,77E-10                                                    | 2,32E-09          | 1,83E-09           | 4,50E-09       | 1,66E-09 | 4,38E-09          | 3,45E-09           | 8,50E-09       | R2                                        |
| Naphtalène            | 0,0002                         | 1,70E-09                                                    | 2,06E-09          | 1,72E-09           | 4,46E-09       | 1,72E-09 | 2,08E-09          | 1,74E-09           | 4,52E-09       | R4                                        |
| HAP<br>Benzo(a)pyrène | 0,2                            | 7,70E-10                                                    | 1,82E-09          | 1,45E-09           | 3,58E-09       | 7,70E-10 | 1,82E-09          | 1,45E-09           | 3,58E-09       | R4                                        |
|                       | Valeur<br>Repère               |                                                             |                   |                    |                |          |                   |                    |                |                                           |
| ERIi sommé            | 10-5                           | 2,8E-08                                                     | 7,3E-08           | 5,8E-08            | 1,4E-07        | 3,3E-08  | 8,5E-08           | 6,7E-08            | 1,7E-07        | R2                                        |

| Polluants             | VTR<br>(mg/kg/j) <sup>-1</sup> | Scénario majorant<br>2005                    |                    |                     |                |    | récepteur<br>le plus<br>impacté<br>adulte |
|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------|----|-------------------------------------------|
|                       |                                | ERI ingestion sol, végétaux, mouton et œuf – |                    |                     |                |    |                                           |
|                       |                                | Adulte                                       | Enfant 2-<br>7 ans | Enfant 7-<br>12 ans | Vie<br>entière |    |                                           |
| Arsenic               | 1,5                            | 2,78E-08                                     | 6,89E-08           | 5,46E-08            | 1,35E-07       | R2 |                                           |
| Plomb                 | 0,0085                         | 1,03E-09                                     | 2,41E-09           | 1,91E-09            | 4,74E-09       | R2 |                                           |
| Naphtalène            | 0,0002                         | 4,88E-09                                     | 3,79E-09           | 3,35E-09            | 9,08E-09       | R4 |                                           |
| HAP<br>Benzo(a)pyrène | 0,2                            | 1,16E-09                                     | 2,08E-09           | 1,72E-09            | 4,26E-09       | R4 |                                           |
|                       | Valeur<br>Repère               |                                              |                    |                     |                |    |                                           |
| ERIi sommé            | 10-5                           | 3,4E-08                                      | 7,7E-08            | 6,1E-08             | 1,5E-07        | R2 |                                           |

Les récepteurs les plus impactés sont selon les polluants : R2 ou R4, situés à l'ouest et au nord de la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône, à proximité de la ZIP.

Toutes les substances ont un excès de risque individuel inférieur à  $10^{-5}$ .

L'excès de risque individuel par substance, pour l'année 2005, pour le scénario « moyen », au récepteur le plus impacté, varie de  $1,3 \cdot 10^{-7}$  à  $7,7 \cdot 10^{-10}$  respectivement pour l'arsenic (vie entière) et les HAPs (adulte).

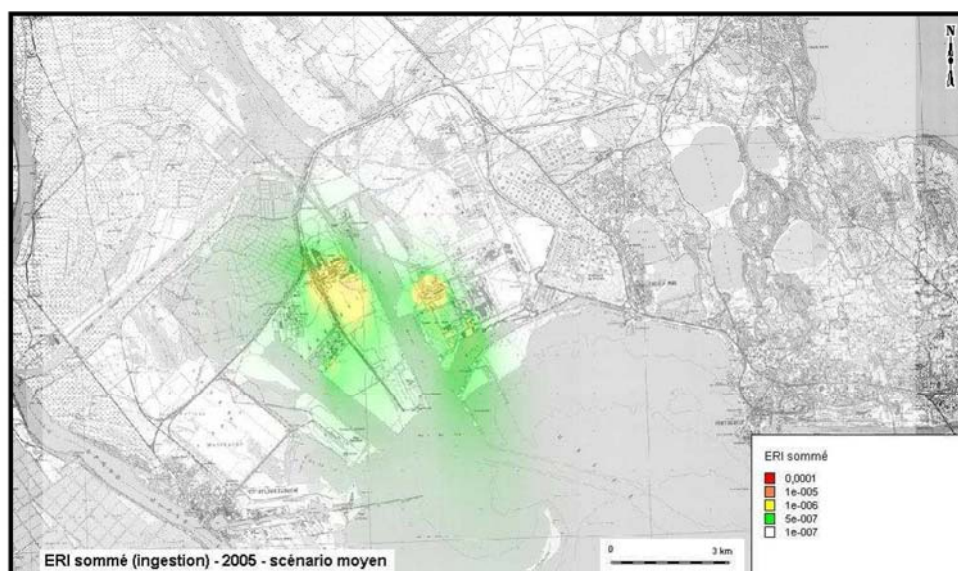
Compte tenu des quantités ingérées et des temps d'exposition, le scénario vie entière présente les risques les plus élevés, suivi de l'enfant 2-7ans, de l'enfant 7-12 ans et d'un adulte.

D'une manière générale, les excès de risque individuel pour l'année 2011 sont du même ordre de grandeur, mais augmentent légèrement. L'excès de risque individuel maximum est de  $1,5 \cdot 10^{-7}$  pour l'arsenic au récepteur R2.

Le risque sans seuil par ingestion est maximum au récepteur R2 avec un excès de risque individuel, pour le scénario « moyen » de  $1,4 \cdot 10^{-7}$  en 2005 et  $1,7 \cdot 10^{-7}$  en 2011, valeurs inférieures à  $10^{-6}$ . Le polluant déterminant du risque est l'arsenic qui participe à 92% du risque global.

A titre informatif, la carte d'excès de risque individuel sommé sur l'année 2005 est présentée :

**Figure 28 : Excès de risque individuel sommé – voie ingestion**



L'excès de risque individuel sommé ne dépasse pas la valeur repère de  $10^{-6}$  sur le domaine d'étude hors périmètre des sites.

Pour le scénario « majorant », l'excès de risque individuel sommé, pour l'année 2005, au récepteur le plus impacté est de  $1,5 \cdot 10^{-7}$ , soit une variation de 6% par rapport au scénario « moyen ».

L'excès de risque individuel sommé, non calculé pour l'année 2011, varie donc selon le même ordre de grandeur et reste par conséquent inférieur à la valeur repère de  $10^{-6}$ .

### Ingestion de poisson et coquillage

Le tableau ci-dessous présente l'excès de risque individuel par substance et sommé pour un habitant de Port-Saint-Louis-du-Rhône, Port-de-Bouc ou Fos-sur-Mer, pêchant une partie de sa consommation de poisson dans le golfe de Fos.

On rappelle que le pourcentage d'autoconsommation pris en compte dans cette étude correspondant à un habitant des Bouches du Rhône d'une ville de 2 000 à 20 000 habitants. Il est de 6,87% (données CIBLEX).

**Tableau 46 : Excès de risque individuel par ingestion de poisson et coquillage**

| Polluants | VTR<br>(mg/kg/j) <sup>-1</sup> | ERI ingestion de poisson              |                 |          |             |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------|----------|-------------|
|           |                                | Enfant 2-7 ans                        | Enfant 7-12 ans | Adulte   | Vie entière |
| As        | 1,5                            | 2,88E-05                              | 2,72E-05        | 4,43E-05 | 7,37E-05    |
| Pb        | 0,0085                         | 1,83E-09                              | 1,73E-09        | 2,82E-09 | 4,69E-09    |
| Polluants | VTR<br>(mg/kg/j) <sup>-1</sup> | ERI ingestion de coquillage           |                 |          |             |
|           |                                | Enfant 2-7 ans                        | Enfant 7-12 ans | Adulte   | Vie entière |
| As        | 1,5                            | 6,81E-07                              | 6,43E-07        | 1,05E-06 | 1,74E-06    |
| Pb        | 0,0085                         | 4,87E-09                              | 4,60E-09        | 7,49E-09 | 1,25E-08    |
| ERI       | Valeur repère                  | ERI ingestion de poisson & coquillage |                 |          |             |
|           |                                | Enfant 2-7 ans                        | Enfant 7-12 ans | Adulte   | Vie entière |
| ERI sommé | 10 <sup>-5</sup>               | 2,9E-05                               | 2,8E-05         | 4,5E-05  | 7,6E-05     |

Le plomb a un excès de risque individuel inférieur à la valeur repère de 10<sup>-6</sup>, pour ce qui concerne l'ingestion de poisson et l'ingestion de coquillage.

De même, l'excès de risque individuel de l'arsenic via l'ingestion de coquillage est inférieur ou proche de la valeur repère de 10<sup>-6</sup>, valeur pour laquelle le risque est jugé comme non significatif.

L'excès de risque individuel de l'arsenic via l'ingestion de poisson est compris dans l'intervalle 10<sup>-6</sup>-10<sup>-4</sup>, intervalle où les incertitudes sont discutées.

Par conséquent, l'excès de risque individuel sommé est compris entre 3.10<sup>-5</sup> et 8.10<sup>-5</sup>, donc dans l'intervalle 10<sup>-6</sup>-10<sup>-4</sup>, pour tout type de personne exposée.

### Conclusion sur l'ingestion

**Pour le risque chronique sans seuil par ingestion, compte tenu des niveaux de risque lié à l'ingestion de poisson et coquillage compris dans l'intervalle 10<sup>-6</sup>-10<sup>-4</sup>, nous ne pouvons conclure quant à l'acceptabilité du risque sans discussion préalable des incertitudes.**

La discussion des incertitudes de cette partie est réalisée au §. 7 : Incertitudes, sensibilité et discussion.

### 6.4.3.3 Caractérisation du risque sans seuil global

Conformément à ce qui est préconisé dans le guide INERIS, nous avons sommé l'ensemble des risques cancérigènes quel que soit le type de cancer provoqué et quelle que soit la voie d'exposition concernée, ceci afin d'estimer le risque cancérigène global qui pèse sur la population.

Les valeurs au récepteur le plus impacté (R2) sont présentées dans le tableau suivant, pour le scénario « moyen » 2005 :

**Tableau 47 : Excès de risque de cancer global- scénario moyen**

|                       |                                   | Enfant<br>2-7 ans | Enfant<br>7-12 ans | Adulte         | Vie<br>entière |
|-----------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------|
| <b>ERI inhalation</b> |                                   | 1,25E-06          | 1,96E-06           | 5,34E-06       | 5,34E-06       |
| <b>ERI ingestion</b>  | <b>Sol, végétaux, mouton, œuf</b> | 7,31E-08          | 5,78E-08           | 2,80E-08       | 1,42E-07       |
|                       | <b>Poisson, coquillage</b>        | 2,95E-05          | 2,78E-05           | 4,53E-05       | 7,57E-05       |
| <b>ERI global</b>     | <b>Σ</b>                          | <b>3,0E-05</b>    | <b>2,8E-05</b>     | <b>4,5E-05</b> | <b>7,6E-05</b> |

L'excès de risque individuel global, pour le récepteur le plus impacté et pour le scénario « moyen » 2005 varie entre  $2,8 \cdot 10^{-5}$  et  $7,6 \cdot 10^{-5}$ , valeurs d'ERI comprises dans l'intervalle  $10^{-6}$ - $10^{-4}$ . Ces risques sont principalement dus à la voie ingestion de poisson et coquillage qui participe à hauteur de 99% du risque global.

Compte tenu des nombreuses incertitudes concernant les mesures de concentration en métaux lourds dans les poissons, nous ne pouvons conclure sans discussion des incertitudes.

Aucun excès de risque individuel global sur le domaine d'étude ne dépasse la valeur de  $10^{-4}$ .

Hors ingestion de poisson et coquillage, l'excès de risque individuel global, pour le récepteur le plus impacté et pour le scénario « moyen » 2005 varie entre  $1,3 \cdot 10^{-6}$  et  $5,5 \cdot 10^{-6}$ , valeurs d'ERI comprises dans l'intervalle  $10^{-6}$ - $10^{-4}$  où les incertitudes doivent être discutées pour conclure ou non à la présence d'un risque. Ces risques sont principalement dus à la voie inhalation qui participe à hauteur de 95% du risque sommé inhalation + ingestion de sol, végétaux, œuf et viande de mouton.

**Pour le risque chronique cancérigène global, compte tenu des niveaux de risque lié à l'ingestion de poisson et coquillage compris dans l'intervalle  $10^{-6}$ - $10^{-4}$ , des incertitudes sur les concentration en métaux lourds dans le poissons et des niveaux de risque lié à l'ingestion par inhalation compris dans l'intervalle  $10^{-6}$ - $10^{-4}$ , nous ne pouvons conclure à l'absence d'un risque significatif sans discussion préalable des incertitudes de l'étude.**

La discussion des incertitudes de cette partie est réalisée au §. 7 : Incertitudes, sensibilité et discussion.

#### 6.4.4 Caractérisation du risque sanitaire travailleur

Seule une première approche de la caractérisation du risque travailleur est réalisée dans cette étude.

La méthodologie utilisée pour caractériser ces risques fait appel à des VTR construites pour des populations « sensibles » et non des travailleurs en bonne santé et ne tient pas compte des valeurs de comparaisons : VME<sup>1</sup> et VLE<sup>2</sup> construites spécifiquement pour une exposition travailleur. Ce calcul de risque, non rigoureux, est donc à interpréter avec précaution.

Dans le cadre de cette étude, le scénario travailleur concerne tous les travailleurs présents sur la zone exposés aux polluants émis par l'ensemble des installations : 8 heures par jour et 236 jours par an aux concentrations sur leur lieu de travail et le reste du temps sur leur lieu de résidence.

Compte tenu des lieux de résidence divers des travailleurs et afin de ne pas démultiplier les calculs ne présentant pas un réel intérêt, on retiendra, pour la concentration au niveau du lieu de résidence, la concentration au niveau de la mairie de Port-Saint-Louis-du-Rhône, ville la plus exposée parmi Fos-sur-Mer et Port-de-Bouc.

Ainsi :  $C_{\text{travailleurs}} = 22\% \text{ de } C_{\text{modélisée lieu de travail}} + 78\% \text{ de } C_{\text{modélisée résidence}}$

#### Caractérisation du risque chronique non cancérogène

Les quotients de danger par organe cible calculés pour un travailleur de quelques installations industrielles de la ZIP sont présentés dans le tableau suivant pour l'année 2005 :

**Tableau 48 : Quotient de danger pour une exposition par inhalation d'un travailleur**

| QD inhalation travailleur 2005 |                         |                    |                                |                    |                      |                  |         |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|------------------|---------|
| Travailleur                    | QD Système respiratoire | QD Système sanguin | QD Effets sur le développement | QD Système nerveux | QD Système hépatique | QD Système rénal | QDsommé |
| <b>Arcelor</b>                 | 0,28                    | 0,03               | 0,0001                         | 0,05               | 0,001                | 0,01             | 0,34    |
| <b>PAM</b>                     | 0,25                    | 0,04               | 0,002                          | 0,10               | 0,001                | 0,02             | 0,39    |
| <b>Terminal Minéralier</b>     | <b>6,11</b>             | 0,02               | 0,0002                         | 0,06               | 0,001                | 0,01             | 6,18    |
| <b>Lyondell</b>                | 0,21                    | 0,02               | 0,0001                         | 0,10               | 0,002                | 0,01             | 0,32    |
| <b>Arkema</b>                  | 0,14                    | 0,01               | 0,0001                         | 0,10               | 0,02                 | 0,01             | 0,27    |
| <b>Solamat Merex</b>           | 0,61                    | 0,02               | 0,0001                         | 0,08               | 0,001                | 0,01             | 0,71    |
| <b>Ascométal</b>               | 0,17                    | 0,02               | 0,0001                         | 0,23               | 0,001                | 0,03             | 0,43    |
| <b>SPSE</b>                    | 0,09                    | 0,01               | 0,0001                         | 0,04               | 0,001                | 0,01             | 0,13    |
| <b>Esso</b>                    | 0,09                    | 0,03               | 0,0001                         | 0,08               | 0,001                | 0,01             | 0,20    |
| <b>DPF</b>                     | 0,11                    | 0,01               | 0,005                          | 0,04               | 0,001                | 0,01             | 0,17    |
| <b>Kerneos</b>                 | 0,08                    | 0,01               | 0,0001                         | 0,03               | 0,001                | 0,01             | 0,12    |

L'ensemble des quotients de danger par polluant sont présentés en annexe 18.

Les quotients de danger les plus élevés sont retrouvés pour le système respiratoire, et varient selon les travailleurs entre 0,08 et 6,1, valeur supérieure à la valeur repère de 1.

<sup>1</sup> VME = valeur moyenne d'exposition

<sup>2</sup> VLE = valeur limite d'exposition

Seuls les travailleurs du terminal minéralier ont un quotient de danger (QD respiratoire) supérieur à la valeur repère de 1. Les quotients de danger les plus élevés sont ensuite retrouvés sur Solamat Merex, Arcelor et le PAM avec des quotients de danger (QD respiratoire) respectifs de 0,6, 0,3 et 0,2, inférieurs mais proches de la valeur repère de 1.

Les polluants déterminants du risque global sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 49 : Polluants déterminants du risque travailleur non cancérogène par inhalation**

| Travailleur                | PM2,5 | Cl <sub>2</sub> | Naphtalène | Benzène | Hexane | Cd | Mn  | Ni | Autre |
|----------------------------|-------|-----------------|------------|---------|--------|----|-----|----|-------|
| <b>Arcelor</b>             | 67%   | 3%              | 9%         | 0%      | 0%     | 2% | 13% | 3% | 2%    |
| <b>PAM</b>                 | 51%   | 3%              | 5%         | 6%      | 10%    | 2% | 15% | 3% | 4%    |
| <b>Terminal Minéralier</b> | 98%   | 0%              | 0%         | 0%      | 0%     | 0% | 1%  | 0% | 0%    |
| <b>Solamat Merex</b>       | 79%   | 2%              | 3%         | 0%      | 0%     | 1% | 11% | 3% | 1%    |

Le polluant déterminant du risque est pour tous les travailleurs, les PM2,5, dont la quantification des émissions sur le terminal minéralier fait l'objet de fortes incertitudes.

Le quotient de danger de 6,1, calculé pour un travailleur du terminal minéralier et provenant à 98% du risque lié à l'inhalation de PM2,5 est donc soumis à de fortes incertitudes. Par conséquent, nous ne pouvons conclure à un risque significatif sans discussion de ces incertitudes.

Pour les autres travailleurs (Arcelor, PAM et Solamat Merex), un deuxième polluant influe sur le risque global. Il s'agit du manganèse qui agit sur le système nerveux.

Pour les polluants ne disposant pas de VTR, nous avons comparé les concentrations d'exposition aux valeurs guides proposées par l'OMS. Ces ratios sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 50 : Ratios « Ci travailleurs/VG » pour une exposition par inhalation d'un travailleur**

| Ratio inhalation travailleur 2005 |                 |                 |       |       |       |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|
| Récepteur                         | NO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | PM10* | HF    | Plomb |
| <b>Arcelor</b>                    | 0,18            | 0,12            | 0,13  | 0,001 | 0,001 |
| <b>PAM</b>                        | 0,22            | 0,17            | 0,03  | 0,002 | 0,003 |
| <b>Terminal Minéralier</b>        | 0,20            | 0,15            | 1,96  | 0,001 | 0,001 |
| <b>Lyondell</b>                   | 0,16            | 0,11            | 0,01  | 0,001 | 0,001 |
| <b>Arkema</b>                     | 0,14            | 0,11            | 0,01  | 0,001 | 0,001 |
| <b>Solamat Merex</b>              | 0,16            | 0,12            | 0,04  | 0,001 | 0,001 |
| <b>Ascométal</b>                  | 0,14            | 0,11            | 0,02  | 0,001 | 0,002 |
| <b>SPSE</b>                       | 0,14            | 0,11            | 0,01  | 0,001 | 0,001 |
| <b>Esso</b>                       | 0,13            | 0,10            | 0,01  | 0,001 | 0,001 |
| <b>DPF</b>                        | 0,14            | 0,12            | 0,02  | 0,001 | 0,001 |
| <b>Kerneos</b>                    | 0,13            | 0,10            | 0,01  | 0,001 | 0,001 |

Seule la concentration en PM10\* au niveau du terminal minéralier est supérieure à sa valeur guide mais, comme pour les PM2,5, la quantification des émissions de PM10\* au niveau du terminal minéralier est soumise à de fortes incertitudes.

Pour le SO<sub>2</sub> et le NO<sub>2</sub>, la concentration d'exposition du travailleur est 5 à 10 fois inférieure à sa valeur guide.

### Caractérisation du risque chronique cancérogène

Pour les risques cancérogènes, les excès de risque individuel sommés sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 51 : Excès de risque individuel sommé pour une exposition par inhalation d'un travailleur**

| ERI inhalation travailleur 2005 |                  |
|---------------------------------|------------------|
| Travailleur                     | ERI sommé adulte |
| Arcelor                         | 4,49E-06         |
| PAM                             | 8,21E-06         |
| Terminal Minéralier             | 5,38E-06         |
| Lyondell                        | 1,01E-05         |
| Arkema                          | 6,23E-05         |
| Solamat Merex                   | 6,65E-06         |
| Ascométal                       | 1,11E-05         |
| SPSE                            | 4,03E-06         |
| Esso                            | 6,00E-06         |
| DPF                             | 4,65E-06         |
| Kerneos                         | 3,93E-06         |

L'ensemble des excès de risque par polluant sont présentés en annexe 18.

L'excès de risque individuel sommé varie selon les travailleurs entre  $4.10^{-6}$  et  $1.10^{-5}$ , valeurs comprises dans l'intervalle  $10^{-4}$ - $10^{-6}$ , où les incertitudes doivent être discutées.

Les travailleurs majoritairement impactés sont Ascométal, Lyondell et le PAM avec des excès de risque individuel respectifs de  $1.10^{-5}$ ,  $1.10^{-5}$  et  $8.10^{-6}$ .

Les polluants déterminants du risque global sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 52 : Polluants déterminants du risque travailleur cancérogène par inhalation**

| Travailleur         | Benzène | Dichloroéthane | MTBE | Cd | Cr VI | Ni | Autre |
|---------------------|---------|----------------|------|----|-------|----|-------|
| Arcelor             | 2%      | 61%            | 2%   | 2% | 25%   | 3% | 4%    |
| PAM                 | 23%     | 35%            | 18%  | 2% | 17%   | 2% | 4%    |
| Terminal Minéralier | 3%      | 59%            | 2%   | 2% | 27%   | 4% | 4%    |
| Lyondell            | 1%      | 65%            | 1%   | 2% | 25%   | 3% | 4%    |
| Arkema              | 0%      | 94%            | 0%   | 0% | 4%    | 0% | 1%    |
| Solamat Merex       | 1%      | 56%            | 1%   | 2% | 32%   | 4% | 4%    |
| Ascométal           | 1%      | 29%            | 0%   | 3% | 59%   | 5% | 3%    |
| SPSE                | 2%      | 65%            | 1%   | 2% | 23%   | 4% | 3%    |
| Esso                | 35%     | 44%            | 1%   | 1% | 15%   | 2% | 2%    |
| DPF                 | 8%      | 57%            | 3%   | 2% | 21%   | 3% | 6%    |
| Kerneos             | 1%      | 67%            | 1%   | 2% | 23%   | 3% | 3%    |

Le polluant déterminant du risque est pour tous les travailleurs, le dichloroéthane. Les autres polluants influençant significativement le risque sont le Chrome VI, le benzène et le MTBE.

**Le risque sanitaire chronique non cancérigène pour un travailleur est supérieur à la valeur repère de 1 pour le terminal minéralier mais nous ne pouvons conclure sans discussion des incertitudes.**

**Le risque sanitaire chronique cancérigène pour un travailleur, est compris entre  $10^{-4}$  et  $10^{-6}$ , par conséquent, nous ne pouvons conclure à un risque significatif sans discussion préalable des incertitudes de l'étude.**

## 6.5 Campagne de mesure dans les sols et les végétaux

Afin de mettre en perspectives les données de la modélisation, des mesures dans les sols et les végétaux ont été réalisées.

Ces mesures n'ont pas pour but d'être comparées aux résultats du modèle, puisqu'elles intègrent le bruit de fond géochimique et l'historique des sols. Elles permettent de prendre état des concentrations en polluants existantes sur le domaine d'étude et de comparer ces valeurs aux valeurs de référence existantes.

### 6.5.1 Localisation des points de prélèvements

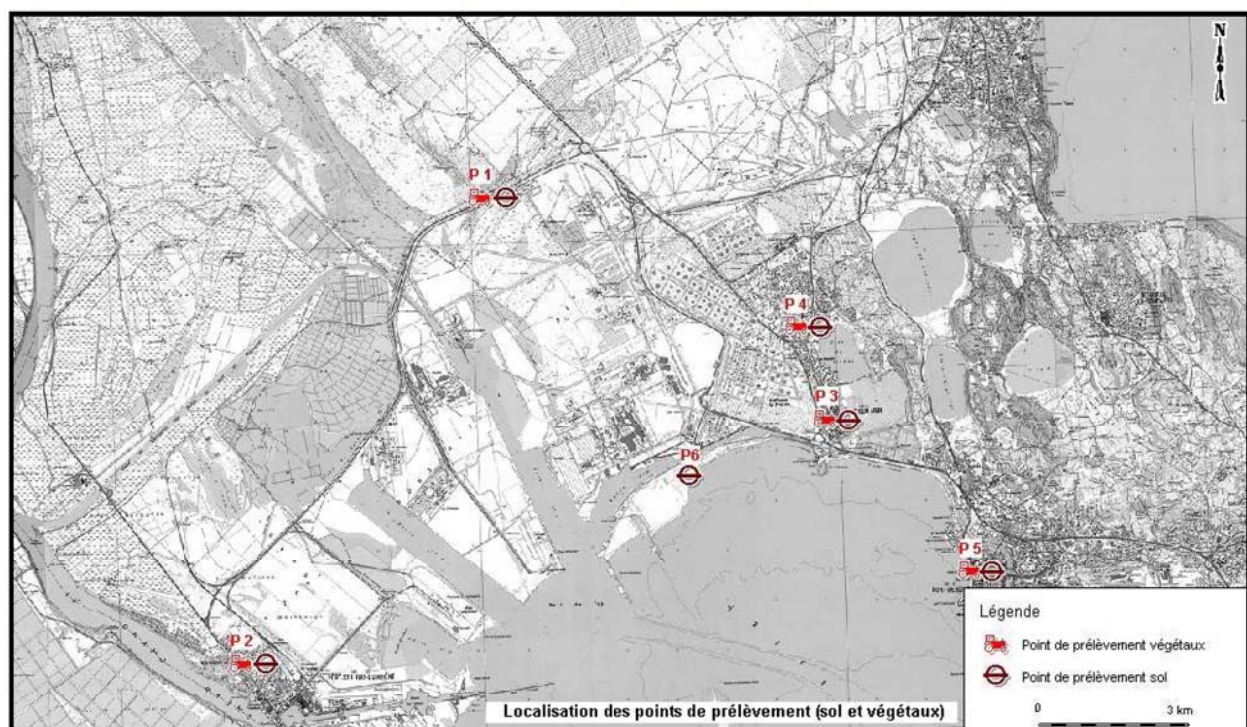
La localisation des points de prélèvements a été choisie en fonction des résultats de la modélisation atmosphérique sur les polluants particuliers. Les 6 points de prélèvements ont été positionnés de la façon suivante :

- 2 points de prélèvements sous les zones de retombées maximales (P1, P6)
- 4 points de prélèvements, sur des zones moins impactées dans les villes de Fos-sur-Mer (P3, P4), Port-Saint-Louis-du-Rhône (P2) et Port-de-Bouc (P5).

Les habitants utilisant un arrosage à l'eau de ville et n'utilisant pas de fertilisant ont été privilégiés pour éviter au maximum toute autre source de contamination.

La localisation des prélèvements réalisés est présentée sur la figure suivante :

**Figure 29 : Localisation des points de prélèvements**



### **6.5.2 Investigations réalisées**

Les prélèvements ont été effectués le 5 Septembre 2007 après avoir reçu l'autorisation de prélever chez les différents habitants.

### **6.5.3 Méthodologie de prélèvement et d'analyses des échantillons**

#### **6.5.3.1 Les sols**

Les prélèvements de sol ont été effectués à la tarière à main par un technicien spécialisé de BURGÉAP, muni de gants en nitrile jetables à usage unique (une paire de gants neufs pour chaque prélèvement) éliminant ainsi tout risque de contamination croisée. L'outil de forage a été nettoyé à l'eau claire après chaque prélèvement.

Les prélèvements ont été effectués soit sur des sols non remaniés, dans les 2 premiers centimètres du sol, soit sur des sols potagers donc remaniés, dans les 30 premiers centimètres du sol.

Un échantillon composite a été constitué, conformément à la norme (NF X 31-100). Les prélèvements sur 16 points élémentaires répartis sur 4 m<sup>2</sup> ont été mélangés pour avoir un échantillon représentatif du secteur.

L'échantillon moyen sur la tranche 0-2 cm ou 0-30 cm a ensuite été broyé à 200 µm et homogénéisé avant analyse (les éléments grossiers > 2 cm ont été éliminés).

Les échantillons composites (cf NF X 31-100) ont été conditionnés dans un flaconnage spécifique, temporairement stockés dans une glacière à basse température et à l'abri de la lumière. Ils ont ensuite été acheminés en laboratoire accrédité COFRAC pour y subir des analyses : Matière Sèche (MS), HAP (16), HCT, Métaux Lourds, dioxines et furanes.

#### **6.5.3.2 Les végétaux**

Les prélèvements de végétaux ont été effectués directement dans le potager, par un technicien spécialisé de BURGÉAP. Chaque légume prélevé a été lavé avant d'être conditionnés dans des sacs en plastique, spécifiques au prélèvement de végétaux et stocké temporairement dans une glacière à basse température, à l'abri de la lumière. Ils ont ensuite été acheminés en laboratoire accrédité COFRAC pour y subir des analyses : Matière Sèche (MS), HAP (16), HCT, Métaux Lourds, dioxines et furanes.

Le légume privilégié pour ces prélèvements a été la tomate, légume de saison retrouvé dans la plupart des potagers et permettant ainsi la comparaison des résultats.

Les fiches de prélèvements effectuées pour chaque jardin potager sont présentées en annexe 19.

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des différents prélèvements réalisés :

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| CAvA061299 – A.17689 – Rav01880f |            |
| NFL – OL – CLD                   |            |
| 06/05/2008                       | Page : 124 |

**Tableau 53 : Caractéristiques des points de prélèvement**

| Points de mesure | Localisation              | Type de prélèvement      | Légume prélevé   | Type d'arrosage | Fertilisation                       |
|------------------|---------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|
| P1               | Nord Ouest d'ARCELOR      | sol (0-2 cm) + végétaux  | tomate aubergine | eau de ville    | tourbe, fumier de cheval            |
| P2               | Port-Saint-Louis-du-Rhône | sol (0-30 cm) + végétaux | tomate           | eau de ville    | fumier, Nitrophoska                 |
| P3               | Fos-sur-Mer               | sol (0-30 cm) + végétaux | tomate           | eau de ville    | terreau (2005)<br>tue-limace (2006) |
| P4               | Fos-sur-Mer               | sol (0-2 cm) + végétaux  | tomate           | puits           | fumier de cheval                    |
| P5               | Port-de-Bouc              | sol (0-2 cm) + végétaux  | tomate           | eau de ville    | naturel, engrais organique          |
| P6               | Plage Cavaou              | sol (0-2 cm)             | -                | -               | -                                   |

**6.5.4 Résultats et interprétation des analyses****6.5.4.1 Les sols**

Les principaux résultats des analyses sont présentés dans le tableau suivant et comparés aux valeurs de référence existantes. Les rapports d'analyses pour chaque prélèvement sont fournis en annexe 20.

**Tableau 54 : Résultats des analyses sols**

| Paramètres                        | Unités   | Valeur de référence <sup>1</sup>                     | P1 (0-2) | P2 (0-30) | P3 (0-30) | P4 (0-2) | P5 (0-2) | P6 (0-2) |
|-----------------------------------|----------|------------------------------------------------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| Indice hydrocarbure (HCT C10-C40) | mg/kg MS | -                                                    | 103      | 76        | 87,1      | 92,9     | 72       | 45,7     |
| Métaux                            |          |                                                      |          |           |           |          |          |          |
| Arsenic                           | mg/kg MS | 1 - 25                                               | 48,4     | 8,25      | 9,96      | 7,95     | 10,8     | 6,06     |
| Cadmium                           |          | 0,05 - 0,45                                          | 1,47     | <1,00     | 3,17      | 1,8      | <1,00    | 2,14     |
| Chrome                            |          | 10 - 90                                              | 20,8     | 35,9      | 14,3      | 25,7     | 18,2     | 19,7     |
| Cuivre                            |          | 2 - 20                                               | 35,1     | 46,7      | 24,1      | 54,2     | 32,7     | 9,87     |
| Nickel                            |          | 2 - 60                                               | 22,5     | 14,5      | 12,5      | 14,6     | 19,1     | 14,4     |
| Plomb                             |          | 9 - 50                                               | 190      | 37,5      | 124       | 50,9     | 48       | 113      |
| Zinc                              |          | 10 - 100                                             | 713      | 187       | 723       | 361      | 93,1     | 340      |
| Cobalt                            |          | 2 - 23                                               | 9,15     | <1,00     | <1,00     | <1,00    | <1,00    | <1,00    |
| Manganèse                         |          | 110 - 4600                                           | 666      | 398       | 277       | 388      | 421      | 597      |
| Antimoine                         |          | 0,05 - 1,5                                           | 9,18     | 1,85      | 1,76      | 6,33     | 3,67     | 1,73     |
| Mercur                            |          | 0,02 - 0,2                                           | <0,10    | <0,10     | 0,1       | <0,10    | <0,10    | <0,10    |
| HAP                               |          |                                                      |          |           |           |          |          |          |
| HAP totaux                        | mg/kg MS | 25                                                   | 16,98    | 8,29      | 5,17      | 0,62     | 0,63     | 0,80     |
| Dioxines furanes                  |          |                                                      |          |           |           |          |          |          |
| TEQ (OMS) LQI incluse             | ng/kg    | rural : 0,02 - 1<br>urbain : 0,2 -17<br>ngTEQ OMS/kg | 1,87     | 3,16      | 4,55      | 5,14     | 2,39     | 3,83     |

 Dépassement des valeurs de référence

<sup>1</sup> Métaux : Concentrations dans les sols ordinaires, INRA, 1997 / HAP : Teneurs anthropiques dans les sols urbains, ATSDR, 2005 / Dioxines et furanes : AFSSA, 2003

Au vu de ce tableau :

Les mesures en hydrocarbures totaux n'ont pas de valeurs de référence pour être comparées mais les teneurs mesurées sont faibles.

Les mesures sur les métaux montrent de nombreux dépassements de leurs valeurs de référence. C'est le cas du cadmium, du cuivre, du plomb, du zinc, de l'antimoine et dans une moindre mesure, de l'arsenic.

Les mesures en HAP totaux sont inférieures à la valeur de référence,

Les mesures en dioxines et furanes montrent un dépassement des valeurs du bruit de fond naturel rural mais pas du bruit de fond urbain.

Le point le plus impacté pour les mesures d'hydrocarbures totaux, de métaux et de HAP est le point 1.

Le point le plus impacté pour les mesures de dioxines et furanes est le point 4.

#### 6.5.4.2 Les végétaux

Les principaux résultats des analyses sont présentés dans le tableau suivant et comparés aux valeurs de référence existantes. Les rapports d'analyses pour chaque prélèvement sont fournis en annexe 20.

**Tableau 55 : Résultats des analyses de végétaux**

| Polluant                        | Unité | Valeur de référence <sup>1</sup> | Pt 1   | Pt 2              | Pt 3   | Pt 4   | Pt 5   |
|---------------------------------|-------|----------------------------------|--------|-------------------|--------|--------|--------|
| Hydrocarbures totaux            | mg/kg | -                                | <10    | <10               | <10    | <10    | <10    |
| Métaux                          |       |                                  |        |                   |        |        |        |
| Plomb                           | mg/kg | 0,3                              | <0,05  | <0,05             | <0,05  | <0,05  | <0,05  |
| Cadmium                         |       | 0,2                              | 0,04   | <0,01             | <0,01  | <0,01  | 0,01   |
| Mercur                          |       | 0,05                             | <0,005 | <0,005            | <0,005 | <0,005 | <0,005 |
| Arsenic                         |       | 0,3                              | <0,1   | <0,1              | <0,1   | <0,1   | <0,1   |
| Cuivre                          |       | 10                               | 0,73   | 1,2               | 1,0    | 0,68   | 0,63   |
| Chrome                          |       | 3                                | <0,1   | <0,1              | <0,1   | <0,1   | <0,1   |
| Nickel                          |       | 6                                | <0,1   | <0,1              | <0,1   | <0,1   | <0,1   |
| Zinc                            |       | 40                               | 2,6    | 2,4               | 2,0    | 1,4    | 1,2    |
| Manganese                       |       | 274                              | 1,1    | 1,2               | 1,0    | 0,59   | 0,59   |
| Antimoine                       |       | -                                | <0,2   | <0,2              | <0,2   | <0,2   | <0,2   |
| Cobalt                          |       | 1                                | <0,1   | <0,1              | <0,1   | <0,1   | <0,1   |
| HAP                             |       |                                  |        |                   |        |        |        |
| HAP totaux                      | µg/kg | -                                | 1,1    | < LQ <sup>2</sup> | < LQ   | < LQ   | < LQ   |
| Dioxines furanes                |       |                                  |        |                   |        |        |        |
| WHO-PCDD/F-TEQ<br>incl. LOQ [c] | ng/kg | -                                | 0,01   | 0,006             | 0,007  | 0,005  | 0,006  |

<sup>1</sup> Contamination des sols. Transferts des sols vers les plantes. ADEME, 2005. EDP Sciences.

Plomb, Cadmium : Règlement CE /466/2001

Mercur : Contamination des sols. CHSPF, 1996

Arsenic, Cuivre, Manganèse : p 53.

Chrome, Nickel, Cobalt : p 106 + synthèse annexe 2

Zinc : annexe 3. Valeurs guides réglementaires (R) ou non (NR) d'autres pays pour l'alimentation humaine

<sup>2</sup> LQ = limite de quantification. Pour un HAP, elle est de 0,5 µg/kg.

Au vu de ce tableau :

Les mesures sur les métaux ne montrent aucun dépassement des valeurs de référence.

Les mesures d'hydrocarbures totaux ne dépassent pas la limite de quantification de 10 mg/kg de végétaux.

Pour les HAP et les dioxines et furanes, il n'existe pas de valeur de référence. Seuls quelques composés sont détectés et supérieurs à leur limite de quantification. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 56 : Résultats détaillés des analyses de végétaux**

| Polluant                   | Unité | Valeur de référence | Pt 1  | Pt 2    | Pt 3    | Pt 4    | Pt 5    |
|----------------------------|-------|---------------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| <b>HAP</b>                 |       |                     |       |         |         |         |         |
| Fluorène                   | µg/kg | -                   | 1,1   | <0,5    | <0,5    | <0,5    | <0,5    |
| <b>Dioxines et furanes</b> |       |                     |       |         |         |         |         |
| 2,3,7,8-TCDF               | ng/kg | -                   | 0,008 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF        | ng/kg | -                   | 0,006 | < 0,002 | < 0,002 | < 0,002 | < 0,002 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD        | ng/kg | -                   | 0,005 | < 0,003 | 0,005   | 0,003   | < 0,003 |
| OCDD                       | ng/kg | -                   | 0,03  | 0,01    | 0,02    | 0,01    | < 0,01  |

 Dépassement LQ pour les HAP et dioxines et furanes

On rappelle tout de même que seules des tomates ont été prélevées et que les concentrations en métaux lourds sont variables suivant l'élément métallique et le type de végétal (légumes feuilles, racines, ...).

### 6.5.5 Résultats disponibles sur d'autres campagnes de mesures

Afin de connaître les concentrations en polluant dans les sols au niveau du domaine d'étude, nous pouvons comparer aux mesures déjà réalisées par certains exploitants de sites :

ARCELOR a réalisé des mesures de métaux et dioxines / furanes sur les sols et les végétaux (ray-grass) en 5 points de la ZIP (4 en dehors du site et 1 en intérieur) en 2005.

SOLAMAT MEREX a réalisé des mesures de métaux et dioxines / furanes sur les sols en 10 points de la ZIP (à proximité du site ou au carrefour de la fossette) en 2003.

Une campagne « plomb » a également été réalisée par ASCOMETAL et ARCELOR en 2006 (mesures sur sites industriels ou zones sensibles).

Les résultats pour les sols sont présentés dans le tableau suivant et comparés aux mesures BURGEAP :

**Tableau 57 : Autres campagnes de mesure dans les sols disponibles**

| Polluants        | Unité    | Mesures<br>BURGEAP | Mesures<br>ARCELOR | Mesures<br>SOLAMAT | Mesures<br>ASCOMETAL | Mesures<br>ARCELOR |
|------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Métaux           |          |                    |                    |                    |                      |                    |
| As               | mg/kg MS | 6,1-48,4           | <5-9               | 4,9-7,4            | -                    | -                  |
| Cd               |          | <1-3,2             | <0,1-1             | 0,1-1,4            | -                    | -                  |
| Cr               |          | 14,3-35,9          | 14-130             | 14-36              | -                    | -                  |
| Cu               |          | 9,9-54,2           | -                  | 6,1-28             | -                    | -                  |
| Ni               |          | 12,5-22,5          | 13-55              | 13-28              | -                    | -                  |
| Pb               |          | 37,5-190           | 5-80               | 6,7-32             | 6-6100               | 5-96               |
| Zn               |          | 93,1-723           | 32-1300            | -                  | -                    | -                  |
| Co               |          | <1-9,1             | 6                  | 4,5-7,2            | -                    | -                  |
| Mn               |          | 277-666            | 308-3200           | 300-540            | -                    | -                  |
| Sb               |          | 1,7-9,2            | 6                  | -                  | -                    | -                  |
| Hg               |          | <0,1               | <0,05-0,2          | -                  | -                    | -                  |
| Dioxines/Furanes |          |                    |                    |                    |                      |                    |
| Dioxines         | ng/kg MS | 1,9-5,1<br>(OMS)   | 0,04-6,2<br>(OMS)  | 0,45-4,94<br>(WHO) | -                    | -                  |

Les mesures BURGEAP sont toutes du même ordre de grandeur que celles effectuées par les industriels. Seul l'arsenic au point 1 (48,4 mg/kg MS) dépasse nettement les teneurs retrouvées sur la zone.

Pour les végétaux, seules des mesures sur les ray-grass sont disponibles. Cette espèce est connue pour ses propriétés de forte bioaccumulation des polluants, elle est couramment utilisée dans les études comme marqueur de pollution. Les mesures effectuées sur les tomates ne sont donc pas comparables.

Les différents résultats obtenus sont tout de même présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 58 : Autres campagnes de mesure dans les végétaux disponibles**

| Polluants        | Unité | Mesures<br>BURGEAP      | Mesures<br>ARCELOR |
|------------------|-------|-------------------------|--------------------|
| Espèce végétale  |       | tomate                  | Ray-grass          |
| Métaux           |       |                         |                    |
| Pb               | mg/kg | <0,05                   | 0,4-3,7            |
| Cd               |       | <0,01-0,04              | 0,04-0,5           |
| Hg               |       | <0,005                  | <0,01-0,06         |
| As               |       | <0,1                    | 0,1-0,6            |
| Cu               |       | 0,63-1,2                | -                  |
| Cr               |       | <0,1                    | 0,3-3,8            |
| Ni               |       | <0,1                    | 0,7-9,1            |
| Zn               |       | 1,2-2,6                 | 22-94              |
| Mn               |       | 0,59-1,2                | 46-163             |
| Sb               |       | <0,2                    | -                  |
| Co               |       | <0,1                    | -                  |
| Dioxines/Furanes |       |                         |                    |
| Dioxines         | ng/kg | 0,005-0,01<br>(WHO, LO) | 0,48-2,64<br>(OMS) |

Comme attendu, les teneurs mesurées dans les tomates des riverains sont nettement inférieures aux teneurs retrouvées dans les ray-grass à proximité d'Arcelor.

### 6.5.6 Conclusion sur la campagne de mesure

Les points les plus impactés sont le point 1, choisi sous la zone de retombé du panache, et dans une moindre mesure les points 3 et 4, dans la ville de Fos-sur-Mer.

Le point 6, également choisi sous la zone de retombée maximum, ne ressort pas comme principalement impacté. Cependant compte tenu du faible nombre de points mesurés et de l'unique mesure effectuée au niveau du point 6, il est difficile de conclure.

La comparaison des valeurs mesurées lors de la campagne de mesure du 5 septembre 2007 avec les valeurs disponibles sur la ZIP issues des campagnes de mesures des industriels sont du même ordre de grandeur.

Aucune contamination particulière des végétaux ne semble ressortir. Ces observations pourront être confirmées ou infirmées à travers le projet Aigrette. A noter que dans le cadre de cette étude, seule les tomates ont été prélevées et les concentrations peuvent être variables selon le type de végétal.

Dans les sols, de nombreux métaux dépassent les valeurs repères. Pour tous ces polluants, des calculs de risque par ingestion de sol superficiel sont effectués dans le paragraphe suivant et évalue leur impact sur la santé des populations.

### 6.5.7 Calcul des risques

Compte tenu des résultats de la campagne de mesure, des calculs de risque sanitaire par ingestion de sol superficiel (0-2 cm) pour les métaux sont nécessaires. Les points de prélèvements correspondants sont les points P1, P4, P5, P6.

Les paramètres d'exposition pris en compte sont les mêmes que ceux utilisés au cours de l'étude, par modélisation.

Les résultats sont présentés au point de prélèvement le plus impacté et au point de prélèvement médian.

Pour les effets chroniques à seuil, le quotient de danger est calculé pour un enfant, cette tranche d'âge correspondant à la plus exposée.

Pour les effets chroniques sans seuil, le quotient de danger est calculé sur une vie entière, scénario le plus majorant.

L'ensemble des résultats pour les différentes classes d'âge sont présentés en annexe 21.

**Tableau 59 : Calculs des risques par ingestion métaux dans les sols**

| Métaux          | Résultats au point d'impact maximum |                 |                 | Résultats au point d'impact médian |                 |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|
|                 | QD enfant                           | ERI vie entière | Point de mesure | QD enfant                          | ERI vie entière |
| As              | 1,57                                | 1,92E-04        | P1              | 0,31                               | 3,73E-05        |
| Cd              | 0,02                                | -               | P6              | 0,02                               | -               |
| Cr <sup>1</sup> | 0,01                                | -               | P4              | 0,07                               | -               |
| Ni              | 0,01                                | -               | P1              | 0,01                               | -               |
| Pb              | 0,53                                | 4,26E-06        | P1              | 0,23                               | 1,87E-06        |
| Co              | 0,06                                | -               | P1              | 0,01                               | -               |
| Mn              | 0,14                                | -               | P1              | 0,11                               | -               |
| Sb              | 0,22                                | -               | P1              | 0,12                               | -               |
| Hg              | 0,003                               | -               | -               | 0,003                              | -               |

Pour les effets chroniques à seuil, seul l'arsenic dépasse la valeur repère de 1. Le point de prélèvement correspondant est le point P1. Sur les autres points de prélèvements, les teneurs en arsenic sont beaucoup plus faibles, et les calculs de risque ne dépassent pas la valeur repère de 1.

On rappelle que la valeur mesurée en arsenic en P1 est supérieure au bruit de fond géochimique national. Elle est également plus élevée que les teneurs mesurées lors de campagnes similaires sur la zone d'étude. La pollution observée sur ce point de prélèvement pourrait provenir d'un usage antérieur de la parcelle. Il est cependant difficile de tirer des conclusions sur la pollution observée compte tenu de l'unique mesure réalisée sur cette parcelle, peut être non représentative.

Pour les effets chroniques sans seuil, l'excès de risque individuel lié à l'arsenic est supérieur à  $10^{-4}$  au point de prélèvement P1, soit un risque sanitaire jugé comme significatif. Comme pour les effets

<sup>1</sup>Hypothèse de répartition retenue : Cr VI = 10% Cr total

chroniques à seuil, il est difficile de conclure sans mesures supplémentaires et une étude historique de la parcelle.

Sur les autres points de prélèvements, l'excès de risque individuel lié à l'arsenic est compris dans l'intervalle  $10^{-6}$ - $10^{-4}$ . Les concentrations mesurées en ces points sont du même ordre de grandeur que celles mesurées lors des autres campagnes de mesures similaires sur la zone. Ces valeurs sont comprises dans le bruit de fond géochimique national. Les risques calculés peuvent donc être principalement liés à de fortes teneurs en arsenic dans les sols géochimiques locaux.

L'excès de risque individuel calculé pour le plomb est également compris dans l'intervalle  $10^{-6}$ - $10^{-4}$ , mais reste dans la tranche inférieure de la discussion du risque. Les teneurs mesurées sont supérieures aux valeurs de référence existantes. Une étude spécifique au plomb a déjà été réalisée sur la zone d'étude et n'a pas mis en évidence de contamination particulière de la ZIP.

## 7 Incertitudes, sensibilité et discussion

### 7.1 Estimation du terme source

Les données prises en compte pour le terme source des rejets atmosphériques sont les données fournies par les industriels. Une faible part des émissions a du être quantifiée par BURGEAP.

Pour chaque site, les données prises en compte ont fait l'objet d'une validation par les inspecteurs DRIRE en charge des sites.

L'estimation du terme source reste toutefois source d'incertitudes, notamment liées à l'extrapolation des campagnes de mesure et à l'évaluation théorique des flux. Les principales incertitudes sont présentées dans le paragraphe suivant.

La comparaison modèle / mesure a mis en évidence la probable non prise en compte d'une source : les émissions de métaux contenus dans les poussières des tas de stockage. Cette incertitude est également discutée dans le paragraphe suivant.

#### 7.1.1 L'extrapolation des campagnes de mesures

##### Pour tous les industriels

La quantification des émissions atmosphériques des industriels provient en partie, d'une extrapolation d'une ou plusieurs campagnes de mesure ponctuelles. Les données prises en compte ne tiennent donc pas compte de la variabilité des flux à l'émission lors du fonctionnement des installations. Elles sont de plus susceptibles d'être entachées d'erreurs métrologiques. L'incertitude engendrée est difficilement quantifiable.

##### Le terminal minéralier

Les émissions fournies par le terminal minéralier ont été estimées par rétromodélisation des concentrations maximales retrouvées lors d'une campagne de mesure dans l'environnement de 2 jours. Cette méthodologie de quantification des émissions laisse supposer une forte surestimation des émissions.

La comparaison modèle/mesure pour les poussières confirme cette hypothèse avec une forte majoration d'un facteur 8 des concentrations modélisées sur le capteur placé à proximité du terminal minéralier (Darse 1). Sur tous les autres capteurs de poussières AIRFOBEP, on observe une sous-estimation des concentrations modélisées du fait de la non prise en compte dans l'étude des sources de poussières naturelles ou anthropiques non industrielles.

Ces observations permettent de confirmer la majoration des émissions de poussières du terminal minéralier de l'ordre d'un facteur 10.

Le quotient de danger et le ratio « concentration/valeur guide » maximum calculés au récepteur le plus proche du terminal minéralier sont pour les PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>\* en 2005, respectivement de 0,3 et 0,02 (sur R2), avec une participation du terminal minéralier de 71% et 7%. Ainsi, parmi les poussières émises par le terminal minéralier, seules les particules fines, PM<sub>2,5</sub>, sont susceptibles d'impacter la population. Sur la commune de Fos-sur-Mer, la participation du terminal minéralier descend à moins de 20%.

La surestimation des émissions du terminal minéralier ne peut donc avoir d'influence significative que sur les habitants de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

Concernant, le risque travailleur, le quotient de danger et le ratio calculés sont de 6,1 et 2,0 pour les PM<sub>2,5</sub> et les PM<sub>10</sub>\*. La majoration du terme source de près d'un facteur 10 laisse supposer que le

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| CAvA061299 – A.17689 – Rav01880f |            |
| NFL – OL – CLD                   |            |
| 06/05/2008                       | Page : 132 |

risque travailleur pour le terminal minéralier est non plus très nettement supérieur à la valeur repère de 1 mais seulement proche de cette valeur.

Une investigation au niveau du terminal sur les poussières sera à réaliser.

#### La granulométrie des poussières

La granulométrie des poussières a été prise en compte dans cette étude pour les sites majoritairement émetteurs de poussières à savoir : le terminal minéralier, ARCELOR, ASCOMETAL et ESSO, sur la base des différents rapports de granulométrie disponibles.

Le terminal minéralier n'ayant pas de données pour son site, une granulométrie similaire à celle des tas de stockage de minerais d'ARCELOR a été prise en compte. Cette hypothèse est tout de même biaisée du fait des différents traitements effectués sur les tas d'ARCELOR et non sur ceux du terminal (laquage, ...). Les particules PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>\* représentent 65% des émissions totales.

Pour tous les autres sites émetteurs de poussières, elles ont été assimilées dans une hypothèse majorante à des poussières fines PM<sub>2,5</sub>. Ces sites représentent moins de 1% des émissions totales de poussières sur la zone. Cette hypothèse n'a donc pas de conséquence majeure sur les résultats de l'étude.

### **7.1.2 La quantification théorique des émissions**

#### Le chargement des navires

Les émissions liées au chargement d'hydrocarbures dans les navires ont été estimées sur la base de facteurs d'émissions.

#### Les projets 2011

L'ensemble des données indiquées pour les projets 2011 (nouveaux sites industriels : EVERE, CYCOFOS et CAP VRACS, projets d'extension des sites existants : ARCELOR ou projets de réduction des émissions : ESSO, RTDH...) correspondent à des émissions théoriques, réglementaires ou à des données constructeurs. Il conviendra de vérifier le respect de ces valeurs une fois les installations mises en service.

#### Le trafic maritime

La quantification des émissions du trafic maritime effectuée dans cette étude comportait de nombreuses hypothèses afin d'obtenir une première estimation de ces émissions.

L'ensemble des bateaux naviguant dans le golfe de Fos ont été différenciés selon leur taille en trois catégories, avec pour chaque catégorie des hypothèses de puissance moyenne du moteur principal et des moteurs auxiliaires, du nombre de moteur, du type de bateau (pétroliers, porte-conteneur...), des temps de manœuvre et déchargement, de la vitesse de navigation...

L'ensemble de ces hypothèses engendrent de fortes incertitudes qu'il est difficile d'évaluer comme majorantes ou minorantes sans une étude plus poussée.

L'estimation des émissions a montré une participation du trafic maritime aux émissions globale de la zone de Fos-sur-Mer de 10% pour le SO<sub>2</sub> et 15% pour les NO<sub>x</sub> mais compte tenu des caractéristiques d'émissions des bateaux et des conditions de dispersion, la participation des émissions du trafic maritime aux concentrations retrouvées dans l'environnement peut être plus ou moins importante selon les localisations. Les participations pour quelques récepteurs sont présentées dans le tableau suivant :

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| CAvA061299 – A.17689 – Rav01880f |            |
| NFL – OL – CLD                   |            |
| 06/05/2008                       | Page : 133 |

**Tableau 60 : Participation du trafic maritime aux concentrations dans l'environnement aux récepteurs**

| Point | NOx | SO <sub>2</sub> | PM <sub>2,5</sub> |
|-------|-----|-----------------|-------------------|
| R1    | 50% | 39%             | 12%               |
| R4    | 15% | 9%              | 4%                |
| R8    | 6%  | 5%              | 5%                |
| R12   | 3%  | 4%              | 5%                |
| E1    | 44% | 34%             | 11%               |

Le trafic maritime impacte significativement les habitants de Port-Saint-Louis-du-Rhône (R1, E1) à hauteur de 40-50% pour les NOx et 30-40% pour le SO<sub>2</sub> mais beaucoup moins les habitants de Fos-sur-Mer ou Port-de-Bouc (R8, R12) à hauteur de 5%. Ainsi, les incertitudes majorantes ou minorantes concernant le trafic maritime ne peuvent avoir d'impact significatif que sur les habitants de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

La comparaison des valeurs modélisées de SO<sub>2</sub> aux valeurs mesurées par les capteurs AIRFOBEP (capteur permanent de Fos-sur-Mer avec respectivement 5 µg/m<sup>3</sup> et 6 µg/m<sup>3</sup> et capteur temporaire Darse 1 avec respectivement 11 µg/m<sup>3</sup> et 4 µg/m<sup>3</sup>), montre une surestimation des expositions via la modélisation au niveau de la darse mais une meilleure restitution des résultats au niveau de Fos-sur-Mer. Cette comparaison peut supposer une surestimation des émissions atmosphériques du trafic maritime pour le SO<sub>2</sub>.

#### Les remorqueurs

Le taux d'occupation des remorqueurs a été gardé constant entre 2005 et 2011. Si une augmentation de 10% était appliquée compte tenu de l'augmentation prévisible du nombre de navires circulant dans le port de Fos, les émissions annuelles de NOx et SO<sub>2</sub> liées au trafic maritime seraient majorées de 3% et 2%. Etant donné l'impact très localisé du trafic maritime, la non prise en compte de cette augmentation de trafic de remorqueur est non significative.

#### La quantification du chrome VI

Il est nécessaire dans une étude de risque sanitaire de distinguer les formes hexavalentes et trivalentes du chrome total, compte tenu des toxicités très différentes de ces composés. Ainsi, une hypothèse de répartition du chrome VI a été prise à 10%.

Deux sites sont majoritairement émetteurs de chrome à savoir ASCOMETAL et ARCELOR, mais compte tenu de la configuration des sites, seul ASCOMETAL impacte significativement les populations.

Des mesures réalisées sur les rejets d'ASCOMETAL auraient montré une teneur en chrome VI inférieure à 0,01%. D'où une majoration d'un facteur 1000 pour les émissions de chrome VI d'ASCOMETAL. Cependant, le manque d'élément mis à notre disposition pour juger de la représentativité de ces mesures ne nous permet pas de confirmer cette forte majoration.

Par ailleurs, un document de l'INRS, sur l'évaluation de l'exposition des soudeurs au chrome et au nickel pour différents procédés de soudage à l'arc (activité se rapprochant de celle d'ASCOMETAL), présente différentes matrices emploi-exposition pour les fumées de soudage d'acier inoxydable : une matrice proposée par l'OMS et une matrice issue de l'étude INRS. Ainsi, la part du chrome VI dans le chrome total pour des fumées de soudage d'acier inoxydable est la suivante :

1. matrice emploi-exposition de l'OMS : 3 % de Cr VI dans le Cr total,
2. matrice emploi-exposition de l'INRS : 2,5 % de Cr VI dans le Cr total.

La prise en compte pour ASCOMETAL d'un pourcentage de chrome VI de 3% entraînerait une diminution des concentrations dans l'environnement d'environ un facteur 3. Les niveaux de risque

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| CAvA061299 – A.17689 – Rav01880f |            |
| NFL – OL – CLD                   |            |
| 06/05/2008                       | Page : 134 |

observés au récepteur le plus impacté ( $ERI=1,2 \cdot 10^{-6}$  en R2) passerait inférieur à la zone de discussion  $10^{-4}$ - $10^{-6}$ .

Une campagne de mesures et de spéciation du chrome sera effectuée par Ascométal afin de confirmer/infirmier l'hypothèse prise en compte dans l'étude.

#### La quantification du dichloroéthane

Compte tenu des niveaux de risque observés pour ce polluant ( $ERI=3 \cdot 10^{-6}$  en R2), il est nécessaire de discuter les incertitudes de sa quantification.

Les émissions de dichloroéthane sont uniquement émises par VINYLFOSS. La liste de ces sources est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 61 : Sources d'émission de 1,2-dichloroéthane par Vinylfos**

| Source                            | Type de source     | Polluant                              | Flux du polluant (kg/an) |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| BOG (bassin d'orage général)      | surfacique         | Dichloroéthane                        | 33000                    |
| CD ST 1500                        | Canalisée (H=45 m) | Dichloroéthane                        | 25400                    |
| Caniveaux                         | surfacique         | Dichloroéthane                        | 23000                    |
| Events généraux                   | canalisée          | Dichloroéthane                        | 16700                    |
| Events effluents liquides ST 2400 | canalisée          | Dichloroéthane                        | 13000                    |
| Campagne ECS                      | fugitive           | Dichloroéthane                        | 12100                    |
| Oxy ST100                         | canalisée          | Dichloroéthane                        | 6600                     |
| Campagne ECS                      | fugitive           | Traceur de pollution : Dichloroéthane | 900                      |
| Chargements DCE bateaux           | fugitive           | Dichloroéthane                        | 610                      |
| Salle d'analyse                   | canalisée          | Dichloroéthane                        | 600                      |
| ST 2100                           | canalisée          | Dichloroéthane                        | 312                      |
| Events bacs DCE ST 1000           | canalisée          | Dichloroéthane                        | 100                      |
| ST 2500                           | canalisée          | Traceur de pollution : Dichloroéthane | 6,1                      |

Parmi les émissions totales de dichloroéthane, seul 0,01% de dichloroéthane correspond à un traceur de pollution. L'incertitude concernant le type de composé émis est donc faible.

Compte tenu des flux émis et de la configuration de chaque source, les sources susceptibles d'impacter majoritairement sont le BOG<sup>1</sup> et les caniveaux, toutes deux surfaciques. Ces deux sources sont très probablement quantifiées de façon théorique mais l'incertitude est difficile à estimer.

<sup>1</sup> BOG = bassin d'orage général servant d'exutoire pour les caniveaux et les dalles de rétention sous les ateliers

### 7.1.3 Terme source non pris en compte

#### Les métaux des tas de stockage

Les tas de stockage d'ARCELOR et du terminal minéralier sont émetteurs de poussières. Aucune caractérisation de ces poussières n'a été faite dans le cadre de cette étude, mais on suppose que des métaux sont très certainement adsorbés sur ces poussières.

La comparaison modèle / mesure AIRFOBEP sur les capteurs aux abords du PAM montre des écarts d'un facteur 10 environ pour l'arsenic, le cadmium et le nickel, d'un facteur 50 pour le plomb, et de plus d'un facteur 100 pour le chrome, ce qui laisse supposer que ces émissions sont non négligeables.

La dispersion des poussières particulaires se fait majoritairement dans un rayon proche des sources. La sous-estimation des dépôts de métaux devraient donc principalement concerner la zone industrielle et non des zones habitées (distantes de plusieurs kilomètres).

L'incertitude engendrée ne devrait donc pas être en mesure de modifier les conclusions de l'étude. Tout ceci est confirmé par la campagne de mesure réalisée dans les sols, qui mis à part pour l'arsenic, ne fait pas apparaître de risque sanitaire.

## 7.2 Le choix des traceurs de pollution

#### COV non spécifiés

La philosophie de la démarche d'évaluation des risques sanitaires implique un choix de « traceurs de pollution » pour toute émission de COV totaux non spécifiés. Ce choix est premièrement réalisé parmi la liste la plus complète possible des polluants ou familles de polluant émis par le site. Si aucune substance n'est connue, ce choix est réalisé sur la base de données bibliographiques ou de guides méthodologiques.

Parmi les COV retenus dans cette étude, 36% d'entre eux correspondent à des émissions de traceurs de pollution. Les polluants majoritairement choisis comme traceur de pollution sont des hydrocarbures avec l'hexane à 65%, les aliphatiques nC5-nC8 à 14% et les aliphatiques nC8-nC12 à 8%.

Le choix de traceur de pollution engendre des incertitudes non négligeables qu'il convient de discuter en cas de polluant déterminant d'un risque. Dans le cas de cette étude, on ne retrouve que très peu de polluants déterminants du risque dans les traceurs de pollution choisis d'où de faibles incertitudes qui ne changent pas les conclusions de l'étude.

#### COV d'ASCOMETAL

Du fait du manque d'information sur les émissions de COV d'ASCOMETAL lors de l'élaboration de la base de donnée, des hypothèses de polluants traceurs de pollution ont été réalisées (utilisation de données bibliographiques). Ainsi, deux types de COV ont pu être identifiés, le benzène et les chlorobenzènes dont les émissions ont été respectivement estimées à 1,3 T/an de benzène et 11 kg/an de chlorobenzènes.

La spéciation des COV réalisée entre temps par le site a donné les résultats suivants :

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| CAvA061299 – A.17689 – Rav01880f |            |
| NFL – OL – CLD                   |            |
| 06/05/2008                       | Page : 136 |

**Tableau 62 : Mesures des COV spécifiques d'ASCOMETAL**

|                                         |                               |                     |
|-----------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| <b>Date de prélèvements</b>             | 07/02/2007                    |                     |
| <b>Débit horaire (Nm<sup>3</sup>/h)</b> | 520 000                       |                     |
| <b>Temps de fonctionnement (h/an)</b>   | 3 649                         |                     |
| <b>Polluants</b>                        | <b>CC (mg/Nm<sup>3</sup>)</b> | <b>Flux (kg/an)</b> |
| 1 butène                                | 0,07                          | 133                 |
| éthanol                                 | 0,69                          | 1 309               |
| acétone+acétonitrile                    | 0,23                          | 436                 |
| Dichlorométhane                         | <0,04                         | 76                  |
| n-hexane                                | 68,83                         | 130 604             |
| méthylcyclopentane                      | <0,04                         | 76                  |
| méthylhexane                            | <0,04                         | 76                  |
| Isomère méthyl hexane                   | <0,04                         | 76                  |
| benzène                                 | 0,21                          | 398                 |
| n-heptane                               | 0,2                           | 379                 |
| diméthyl hexane                         | <0,04                         | 76                  |
| triméthylpentane                        | <0,04                         | 76                  |
| Isomère triméthyl pentane               | 0,13                          | 247                 |
| triméthylhexane                         | <0,04                         | 76                  |
| toluène                                 | 1,06                          | 2 011               |

Les émissions de benzène prises en compte dans l'étude ont été surestimées : 1,3 T/an pour 0,4 T/an. On ne retrouve pas de chlorobenzène dans les mesures d'ASCOMETAL.

Par contre, une grande quantité d'hexane est émise à l'atmosphère et n'a pas été prise en compte pour l'étude. Cette valeur reste à confirmer puisque les émissions d'hexane représentent à elles seules, 130 T/an tandis que les émissions totales de COV en 2005 avaient été estimées à 8 T/an. Dans tous les cas, compte tenu de la toxicité de l'hexane, la non prise en compte de ce composé sur le site n'est pas en mesure de remettre en cause les résultats de l'étude. On rappelle que pour plus de 1 000 T/an d'hexane émis par les autres sites, la participation au risque global de ce composé est de 0,6%.

Les flux de COV pris en compte pour le site d'ASCOMETAL ont pu être sous-estimés.

#### HAP (équivalent benzo(a)pyrène)

Pour les HAP, le recueil des données a été effectué en équivalent Benzo(a)pyrène.

Cette démarche, a un effet minorant sur le calcul du risque par ingestion. Elle ne prend pas en compte les facteurs de bioconcentration ( $BCF_{\text{végétaux}}$ ) de chacun des HAP pris séparément mais uniquement celui du Benzo(a)pyrène qui fait partie des plus faibles. On minore ainsi le risque cancérigène lié à l'ingestion de polluants issus des rejets atmosphériques. Cependant, compte tenu des niveaux de risque très faibles observés pour ce composé ( $ERI \approx 10^{-8}$ - $10^{-9}$ ), la prise en compte des  $BCF_{\text{végétaux}}$  individuels de chacun des HAP, n'aurait pas changé les conclusions de cette étude.

### 7.3 Le choix des traceurs de risque

Lors du choix des traceurs de risque, 5 polluants cancérigènes n'ont pas été retenus pour la suite de l'étude : le tétrachloéthylène, le chlorure de méthylène, le chloroforme, le trichloroéthylène et le tétrachlorure de carbone.

Ces polluants sont tous émis par un seul industriel : EVERE, et par six sources d'émissions différentes : les deux UVE (rejets canalisés, hauteur = 50 mètres), la chaudière biogaz (rejet canalisé, hauteur = 30 mètres), le bruleur de sécurité biogaz (rejet canalisé, hauteur = 10 mètres) et les deux biofiltres (rejet diffus surfacique, hauteur = 2 mètres).

Compte tenu des caractéristiques de chacun de ces rejets, la moins bonne dispersion des rejets se fait en sortie des biofiltres.

Les aldéhydes/cétones (assimilés à du formaldéhyde) et pris en compte dans cette étude est également un polluant uniquement émis par l'industriel EVERE et par la source biofiltre, la moins dispersive. En prenant l'hypothèse majorante que les autres polluants cancérigènes émis par EVERE et non pris en compte dans cette étude se dispersent de la même façon que le formaldéhyde, on rajoute au récepteur R2, le plus impacté, et pour un adulte un excès de risque individuel sommé de  $1,6 \cdot 10^{-9}$ , soit 0,1% de l'ERI sommé adulte calculé dans cette étude au récepteur R2.

La non prise en compte de ces polluants dans la présente étude n'a donc pas de conséquence significative sur les conclusions de cette évaluation des risques.

### 7.4 Les mesures de concentrations d'exposition

#### Mesures dans les poissons

Les concentrations d'exposition des populations consommant des poissons pêchés dans le golfe de Fos ont été estimées directement à partir de mesures sur plusieurs espèces de poisson. Pour chaque polluant, la concentration d'exposition maximale a été retenue pour l'étude et entraîne des quotients de danger et excès de risque individuel proche des valeurs repères.

Les concentrations mesurées sur les différents poissons sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 63 : Concentration des métaux lourds dans les poissons**

|           | Teneurs en métaux lourds (mg/kg poids frais) |        |        |                |
|-----------|----------------------------------------------|--------|--------|----------------|
|           | raies                                        | soles  | turbot | Teneur retenue |
| <b>Cr</b> | 0,022                                        | 0,038  | <0,004 | 0,038          |
| <b>Ni</b> | 0,023                                        | 0,044  | 0,007  | 0,044          |
| <b>As</b> | 19,104                                       | 4,129  | 4,231  | 19,104         |
| <b>Cd</b> | < 0,005                                      | <0,004 | <0,004 | 0,005          |
| <b>Pb</b> | 0,014                                        | 0,021  | <0,004 | 0,021          |
| <b>Hg</b> | 0,056                                        | 0,043  | 0,092  | 0,092          |

Ces mesures ont été effectuées sur une seule campagne, en pêchant au niveau des darses 1 et 2, 1 turbot, 40 soles et 17 raies. Pour une meilleure représentativité des mesures, on préférera par conséquent, les teneurs calculées pour les raies et les soles.

La concentration en arsenic initialement retenue dans l'étude correspondait à la concentration mesurée dans les raies, très nettement supérieure aux teneurs en arsenic dans les soles et le turbot.

La prise en compte d'une teneur en arsenic de 4,1 mg/kg poids frais entrainerait pour l'enfant entre 2 et 7 ans un quotient de danger de 0,14 au lieu de 0,64, valeur nettement plus inférieure à la valeur repère de 1, et pour un adulte exposé sur sa vie entière, un excès de risque individuel de  $1,6 \cdot 10^{-5}$  au lieu de  $7,4 \cdot 10^{-5}$ , valeur toujours comprise dans l'intervalle  $10^{-4}$ - $10^{-6}$ .

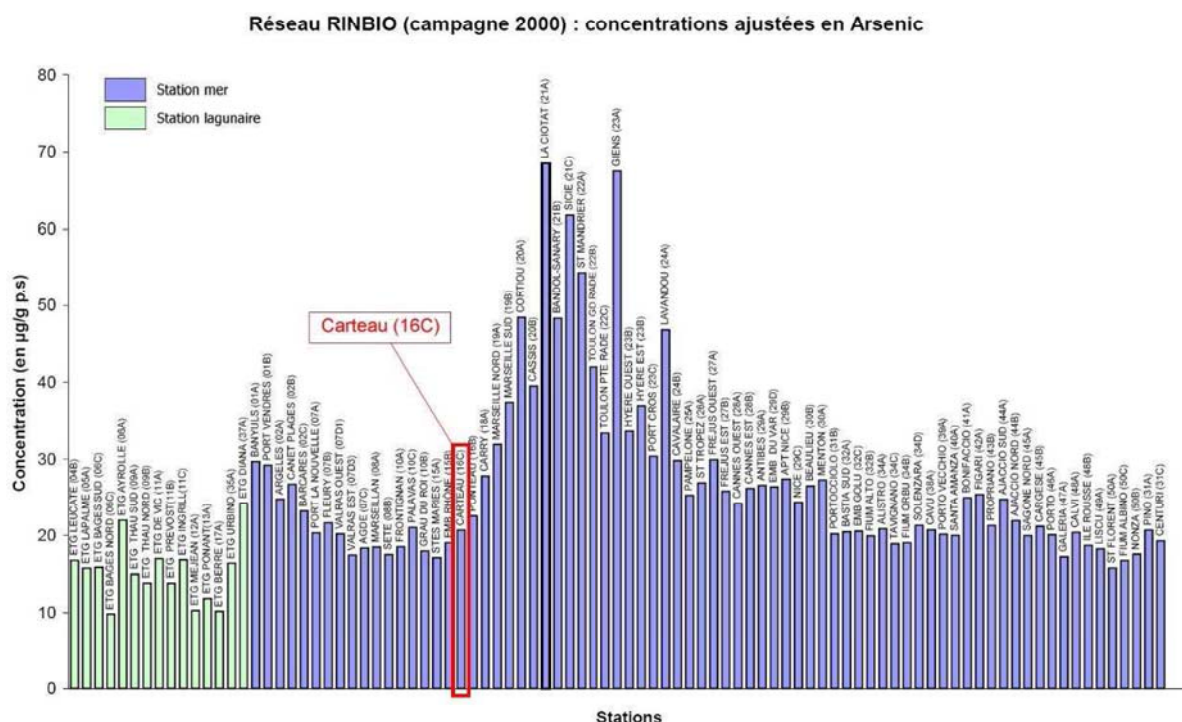
La forme la plus toxique de l'arsenic est la forme inorganique pour laquelle une valeur toxicologique de référence existe. Compte tenu du fait que l'arsenic est principalement bio-accumulé sous forme organique, nous avons uniquement pris en compte dans l'étude 10% de l'arsenic sous sa forme inorganique.

Les différents documents<sup>1</sup> disponibles dans la littérature et traitant des teneurs en arsenic inorganique dans les poissons ou coquillages semblent indiquer que cette valeur est dans la moyenne ou légèrement majorante.

Une campagne de mesure sur l'arsenic avait été réalisée en 2000 dans le cadre du projet RINBIO sur l'évaluation de la qualité des eaux, basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en méditerranée et les teneurs en arsenic dans les moules, mesurés dans l'anse de Carteau, étaient relativement faibles comparativement aux résultats des autres stations de mesures.

La figure ci-dessous présente le suivi de résultat de la campagne de mesure RINBIO sur l'année 2000 :

**Figure 30 : Concentration en arsenic dans les moules - Campagne RINBIO 2000**



<sup>1</sup> Recommandation de l'US-FDA, Guidance for arsenic in shellfish, 1993

Determination of arsenic species in fish, crustacean and sediment samples from Thailand using high performance liquid chromatography (HPLC) coupled with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), S. Rattnachongkiat & Co, JEM, 2004, 6, 254-261.

L'arsenic en milieu marin: synthèse bibliographique, 1987, IFREMER, Pierre MICHEL

Calipso. Etude des consommations alimentaires de produits de la mer et imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga 3. Afssa, Août 2006.

Aucun élément ne semble indiquer une plus forte contamination des eaux du golfe de Fos par rapport aux valeurs en arsenic ou autres métaux mesurés sur l'ensemble de la méditerranée.

Il convient également de rappeler que l'évaluation du risque lié à l'arsenic par ingestion de produits de la mer, réalisée dans notre étude, est succincte car elle ne tient pas compte du type de poissons consommés par la population alors que la contamination en arsenic est très dépendante de l'espèce. Notre scénario se place dans une hypothèse majorante de consommation des produits les plus contaminés.

L'étude des consommations alimentaires de produits de la mer et de l'imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga 3 (CALIPSO<sup>1</sup>), menée par l'INRA et l'AFSSA, permet de disposer de données de consommation et d'exposition plus précises chez les gros consommateurs de produits de la mer. L'un des sites d'étude était située à Toulon qui est représentatif des consommateurs de la Méditerranée.

Concernant l'arsenic, les résultats de cette étude permettent de :

- confirmer que la contamination est très variable d'un type de poisson à l'autre,
- montrer que la proportion en As inorganique est bien plus faible que la valeur utilisée dans notre étude. Suivant le type de poisson, il ne représente en effet que 0,1 à 3,5 % de l'As total. Les teneurs en As inorganique des mollusques et crustacés sont plus importantes que celle des poissons, tout en restant inférieures à celles estimées dans notre étude.
- le calcul de l'exposition hebdomadaire en As inorganique à partir de l'étude de consommation fine (quantité et type de poissons) et en fonction de l'origine des produits (pêche locale, marché ...) conduit à une dose plus faible que celle évaluée dans notre étude (données disponibles pour les adultes) alors même qu'elle concernait de gros consommateurs.

#### Mesures dans les coquillages

Les concentrations d'exposition des populations consommant des coquillages pêchés dans le golfe de Fos ont été directement mesurées sur de nombreux échantillons de moule. Pour chaque polluant, le percentile 90 a été retenu dans le cadre de notre étude et entraîne un risque cancérogène pour l'arsenic ( $ERI=2.10^{-6}$  sur une vie entière). Le choix du percentile 90 est une hypothèse majorante.

## 7.5 Les valeurs toxicologiques de référence

Les valeurs toxicologiques de référence comportent structurellement des sources d'incertitudes prises en compte dans l'élaboration même des valeurs. **Il est habituellement admis que les valeurs proposées par les organismes compétents sont, dans l'état actuel des connaissances, précautionneuses.**

En outre, les effets de synergies inter polluants pour chaque voie exposition, qu'ils soient positifs ou négatifs ne peuvent être évalués faute de données suffisantes dans les bases de données toxicologiques consultées.

#### VTR chronique

Les VTR chroniques des polluants déterminants du risque sont présentées dans le tableau suivant :

<sup>1</sup> Calipso. Etude des consommations alimentaires de produits de la mer et imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga 3. Afssa, Août 2006.

**Tableau 64 : Incertitudes sur les VTR des polluants déterminants du risque**

| Risque          |            | Polluant tirant le risque | VTR                                         | Organisme     | Discussion nécessaire                              |
|-----------------|------------|---------------------------|---------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------|
| Non cancérigène | inhalation | PM2,5                     | 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$                 | US EPA        | -                                                  |
|                 | ingestion  | Arsenic                   | 0,0003 $\text{mg}/\text{kg}/\text{j}$       | US EPA (1993) | -                                                  |
|                 |            | Dioxines                  | 1 $\text{pg}/\text{kg}/\text{j}$            | OMS (1999)    | DJT à respecter : 4 $\text{pg}/\text{kg}/\text{j}$ |
| cancérigène     | inhalation | Chrome VI                 | $4.10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$   | OMS (2000)    | Gamme d'ERU: $1,1.10^{-2}$ à $1,3.10^{-1}$         |
|                 |            | Dichloroéthane            | $2,6.10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ | US EPA (1991) | Dérivation de la voie orale                        |
|                 | ingestion  | Arsenic                   | 1,5 $(\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$   | US EPA (1998) | -                                                  |

**Dioxines :**

L'OMS a fixé en 1998, une dose journalière tolérable (DJT) de 1 à 4  $\text{pg}/\text{kg}/\text{j}$ , 4 étant la DJT à respecter et 1 l'objectif à atteindre. Cette valeur est basée sur une dose sans effets nocif (NOAEL : dose déterminée expérimentalement à partir d'étude chez l'animal et pour laquelle aucun effet délétère n'a été observé) de 1  $\text{ng}/\text{kg}/\text{j}$  auquel a été appliqué un facteur de sécurité de 1000.

En toute rigueur également, à côté de la VTR de l'OMS, il serait possible de sélectionner une ou plusieurs VTR présente dans d'autres bases de données officielles et dont la construction est solide ; par exemple l'ATSDR. On notera que nombre d'organismes ont fixé une VTR de même valeur numérique : 1  $\text{pg}/\text{kg}/\text{j}$ , reflétant une grande cohérence d'analyse. C'est la valeur que nous retiendrons pour l'ensemble des risques liés à l'ingestion de Dioxines (risques à seuil d'effet et risque cancérigène)

L'US-EPA a déterminé en 2000 un ERU<sub>0</sub> pour les dioxines de  **$1 \cdot 10^{-3} (\text{pgTEQ}/\text{kg}/\text{jour})^{-1}$** . Cette estimation est basée sur une approche stochastique qui induit des incertitudes importantes sur la valeur proposée (Information Sheet 1 et 2, May 25, 2001). On notera que l'US-EPA référence dans sa base de données IRIS une VTR pour les seules hexachlorodibenzodioxines qui ne comprennent pas la dioxine de Seveso considérée comme la plus toxique.

Le mécanisme d'action cancérigène des dioxines est non génotoxique. Il est alors logique de construire une VTR à seuil pour l'ensemble des effets toxiques liés à ces substances. Par conséquent, nous n'avons pas retenu cette valeur d'ERU<sub>0</sub> dans la présente étude. C'est également l'approche préconisé par l'OPERSEI<sup>1</sup>.

**Pour le chrome VI :**

L'US-EPA (1998), Santé Canada (1993) et l'OEHHA (2002) ont établi des ERU<sub>i</sub> différents à partir de la même étude épidémiologique de Mancuso (1975) portant sur 332 salariés. Dans cette étude la mort par cancer pulmonaire est corrélée avec l'exposition aux dérivés solubles du chrome (VI). L'US-EPA établi un ERU<sub>i</sub> de  $0,012 (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  tandis que santé Canada établi une CT(0,05) de  $0,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$

<sup>1</sup> Observatoire de pratiques de l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact - [http://www.sante.gouv.fr/html/dossiers/etud\\_impact/634\\_ei.htm](http://www.sante.gouv.fr/html/dossiers/etud_impact/634_ei.htm)

correspondant à un ERUi de  $0,075 (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  et l'OEHHA un ERUi de  $0,15 (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ . Les divergences de valeurs retenues reposent sur différentes interprétations de l'étude épidémiologique.

La VTR retenue pour les effets toxiques cancérogènes du chrome VI par inhalation est celle de l'OMS datant de 2000 qui est de  $4.10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ . Cette valeur a été établie à partir de plusieurs études épidémiologiques (Hayes *et al.*, 1979 ; Langard, 1980 ; Langard *et al.*, 1990), dont certaines assez récentes complètent celle retenue par l'US EPA. Dans ces études l'effet retenu est la survenue de cancer pulmonaire, l'OMS a retenu la moyenne géométrique des ERUi de ces études. Le choix de retenir la valeur établie par l'OMS repose sur le nombre d'études prises en compte (les autres organismes ne retenant que l'étude épidémiologique de Mancuso, 1975). La confiance accordée à cette valeur est satisfaisante.

Cette valeur se situe dans la gamme d'ERUi synthétisée par l'OMS de  $1,1 \cdot 10^{-2}$  à  $1,3 \cdot 10^{-1} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ , soit une incertitude d'un facteur 3,5.

#### Dichloroéthane :

L'ERUi cancérogène par inhalation du dichloroéthane a été dérivé de l'ERUo cancérogène par ingestion de l'US EPA. Cette dérivation est construite en considérant une absorption totale par voie orale et inhalation et en considérant des effets identiques à savoir des effets cancérogènes sur le système sanguin. Le caractère cancérogène par inhalation n'est cependant pas totalement reconnu, du fait du manque d'études recevables permettant de détecter un éventuel effet cancérogène.

Après analyse du métabolisme et du mécanisme d'action du 1,2-dichloroéthane, il n'apparaît pas justifié de réaliser une extrapolation voie à voie simple à partir des données de cancérogénèse par voie orale pour calculer une VTR par inhalation. En effet, différentes études supportent l'hypothèse selon laquelle la toxicité du 1,2-dichloroéthane serait associée à la saturation du métabolisme et du mécanisme de détoxification. Aux faibles doses, cette saturation apparaît plus vite après une exposition par voie orale qu'après une exposition par inhalation. L'exposition par voie orale induit des effets plus importants que l'exposition par inhalation pour des doses équivalentes (ATSDR, 2001). Ainsi, une extrapolation voie à voie à partir des données de cancérogénèses par voie orale pour calculer la VTR pour les effets cancérogènes par inhalation pourrait surestimer le risque selon l'INERIS.

#### PM<sub>2,5</sub> :

Pour les PM<sub>2,5</sub>, l'OMS fixe une valeur guide de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle et  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière (Air Quality Guidelines – Global Update 2005). Le 26 septembre 2006, les eurodéputés ont voté pour une «valeur cible» annuelle de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM<sub>2,5</sub>. Cependant, les  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ne sont définis que comme une «valeur cible», et non pas une «valeur limite».

Pour information, Sylvia Médina coordinatrice du programme européen Apheis, a comparé différents scénarios d'exposition pour la population âgée de plus de 30 ans de 26 villes européennes (41,5 millions d'habitants). Le nombre de morts évitables chaque année a été évalué à 4.400 pour une teneur en PM<sub>2,5</sub> de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , à 7.300 pour  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , à 13.200 pour  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et à 22.000 pour  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .<sup>1</sup>

L'US-EPA propose, pour une exposition chronique par inhalation, une valeur de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pour les particules fines (PM<sub>2,5</sub>). Cette valeur correspond à un facteur d'abattement de 200 par rapport aux valeurs retenues en France et aux Etats-Unis pour l'exposition professionnelle (VLE de  $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Compte tenu que des études montrent des effets sur la santé pour des concentrations annuelles moyennes inférieures à  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de particules (PM<sub>2,5</sub>) nous accordons un degré de confiance moyen à cette valeur.

<sup>1</sup> Sylvia Médina, département santé et environnement de l'Institut de veille sanitaire (InVS) - coordinatrice du programme européen Apheis (Air pollution and health european information system)

## Le cas des travailleurs

Les valeurs toxicologiques de référence sont construites pour une exposition d'une population sensible et non pour un travailleur en bonne santé. La prise en compte de ces valeurs toxicologiques pour les travailleurs est donc précautionneuse.

## 7.6 Les valeurs guides

Les valeurs guides sont publiées par le bureau Europe de l'Organisation Mondiale de la Santé en 2000 dans un document intitulé « Air Quality Guidelines in Europe » [WHO 2000]. L'objet de ce guide est de « fournir une **base pour la protection de la santé publique** contre les effets néfastes des polluants atmosphériques, dans la perspective d'une cessation ou d'une réduction de l'exposition aux polluants qui nuisent certainement ou probablement à la santé ou au bien-être. Ces valeurs guides correspondent à des niveaux de polluants au-dessous desquels l'exposition (à vie ou pendant une période donnée) ne représente pas de risque important pour la santé publique »<sup>1</sup>. Ces valeurs, bien que reposant sur des critères sanitaires sont considérées comme des valeurs de gestion, et ne constituent pas, stricto sensu, des valeurs toxicologiques de référence.

### SO<sub>2</sub> :

Pour le SO<sub>2</sub>, la valeur repère prise en compte est la valeur guide de l'OMS de 50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle. La valeur guide, du SO<sub>2</sub>, a été revue par un groupe de travail OMS en 2005 (WHO air quality guidelines, global update, 2005)<sup>2</sup>. Dans cette révision, qui s'appuie sur l'ensemble des connaissances acquises ces dernières années (études épidémiologiques notamment), l'OMS ne propose plus qu'une seule valeur guide pour le SO<sub>2</sub> : 20 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière.

Selon les résultats de l'étude APHEA (Air Pollution and Health : a European Approach)<sup>3</sup>, concernant les admissions hospitalières pour asthme, une augmentation de 50 µg/m<sup>3</sup> de l'indicateur de pollution SO<sub>2</sub> est statistiquement associée à un excès d'admission chez les enfants, de l'ordre de 8%. Cette étude a également permis de mettre en évidence la persistance d'effets néfastes sur la santé pour de faibles niveaux de SO<sub>2</sub><sup>4</sup>. Ces risques ne sont pas en rapport avec la survenue de pics de pollution mais résultent de variations journalières des niveaux de pollution atmosphérique de fond couramment observés en milieu urbain. C'est la raison pour laquelle l'OMS précise qu'il apparaît inutile d'édicter une valeur guide annuelle, dans la mesure où le respect de la valeur guide journalière permettra d'assurer un bas niveau d'exposition des populations.

### PM<sub>10</sub> :

Pour les PM<sub>10</sub>, l'OMS fixe une valeur guide de 20 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle et 50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière (Air Quality Guidelines – Global Update 2005). Ces valeurs guides font débat et ne sont pas reconnues comme des valeurs sûres pour la santé humaine. Il est conseillé de maintenir des concentrations en poussières dans l'environnement, les plus basses possibles.

Les valeurs guides indiquées correspondent par conséquent à des valeurs de gestion, plus qu'à des valeurs de protection de la santé humaine.

<sup>1</sup> WHO. Air Quality Guidelines. Second edition WHO Regional Publications, European Series, No. 91.2000, 273 pages.

<sup>2</sup> WHO. Air Quality Guidelines. Global update 2005. Report on a working group meeting. Bonn, Germany. 18-20 october 2005.

<sup>3</sup> Quénel P., Zmirou D., Le Tertre A., Balducci F., Le Moulec Y., Ritter P., Barumandzadeh T., Dab, W. Impact sur la santé de la pollution atmosphérique en milieu urbain : synthèse des résultats de l'étude APHEA (Air Pollution and Health : an European Approach). BEH n°2/98. 1998. p5 à 7.

<sup>4</sup> Sunyer J., Atkinson R., Ballaster F., Le Tertre A., Ayres J.G., Forastiere F., Forsberg B., Vonk J.M., Bisanti L., Anderson R.H., Schwartz J., Katsouyanni K. Respiratory effects of sulphur dioxide : a hierarchical multicity analysis in the APHEA 2 study. Occupational and Environmental Medicine 2003 ; 60 :e2.

## 7.7 La représentativité des données météorologiques

La représentativité des données météo France est jugée comme bonne. Les données ont été collectées auprès de la station Météo France d'Istres, la plus proche de la zone, sur 5 années complètes consécutives (2002-2006).

## 7.8 L'utilisation de modèles mathématiques (modèle de dispersion et modèle de transfert)

### La modélisation de la dispersion atmosphérique

Les incertitudes relatives aux calculs de modélisation sont de deux types : celles intrinsèques au modèle numérique, compte tenu notamment de la complexité du site et de la problématique à modéliser, et celles relatives à la qualité des données d'entrée du modèle.

- Incertitudes intrinsèques au modèle

Plusieurs campagnes de mesures très documentées, effectuées sur des sites industriels durant les 50 dernières années, ont été référencées et leurs données intégrées à des bases de données destinées à évaluer a posteriori les modèles de dispersion atmosphérique. Parmi ces bases de données, on citera l'outil européen d'évaluation MVK (Model Validation Kit). Plusieurs articles internationaux<sup>1</sup> rapportent les résultats de campagnes de comparaisons entre le modèle ADMS et les mesures sur site. On citera notamment :

- La campagne de mesures « Prairie Grass » a été réalisée sur terrain plat et herbeux. Les rejets se situent à 0.5 mètre au-dessus du sol, avec des conditions météorologiques pour moitié instables (convection) et pour moitié stables. Les mesures ont été effectuées sur des arcs situés à différentes distances de la source. Les simulations effectuées avec ADMS ont montré que les concentrations étaient proches des mesures dans les cas instables, et qu'elles avaient tendance à être légèrement sous-estimées dans les autres cas. Le biais fractionnel (caractérisant l'erreur systématique) est de 19%. Notons que ces tests montrent qu'ADMS donnent des résultats tout à fait satisfaisants en champ proche (50 mètres de la source).
- La campagne intitulée « Indianapolis », se déroule en milieu urbain dense, sans relief. Les émissions proviennent d'une cheminée de 83,8 mètres de haut. Sur cet exercice, ADMS a tendance à surestimer les concentrations à proximité des sources, et à les sous-estimer plus loin. Le biais fractionnel est de 10%. Globalement ADMS surestime légèrement les concentrations maximales mesurées (7%), et sous-estime les concentrations moyennes de 14%.
- L'exercice « OPTEX Tanks » se situe dans une raffinerie. Les rejets sont émis par une source ponctuelle au niveau du sol, au milieu de plusieurs obstacles. Dans ce cas, ADMS sous-estime de 50% les concentrations moyennes, et sous-estime la concentration maximale d'un facteur 3.
- L'exercice « OPTEX Matrix » se déroule sur le même site que le précédent, mais cette fois les rejets proviennent de plusieurs sources ponctuelles. ADMS surestime dans ce cas les concentrations moyennes d'environ 10%, et la concentration maximale d'un facteur 3.
- Le cas « Duke Forest » correspond à des rejets provenant de plusieurs sources ponctuelles situées près du sol, dans un champ, sans obstacles autour. ADMS prédit bien les concentrations maximales dans ce cas (sous-estimation de moins de 10%), et sous-estime les concentrations moyennes d'environ 40%.

<sup>1</sup> Hanna S.R., Egan B.A., Purdum J. and Wagler J. (1999), Evaluation of ISC3, AERMOD, and ADMS Dispersion Models with Observations from Five Field Sites. HC Report P020, API, 1220 LSt. NW, Washington, DC 20005-4070, 1999.  
ADMS3 validation Summary, CERC, 2001.

- Le cas « Kincaid » se déroule dans une ferme, sur un terrain relativement plat, avec des émissions provenant d'une cheminée de 187 mètres de haut. Les concentrations maximales sont sous-estimées d'environ 30%, et les concentrations moyennes sont bien estimées, avec une surestimation de seulement 3%.

La plupart de ces résultats ont été repris et validés par l'Ecole Centrale de Lyon, dans le cadre d'une étude demandée par l'association RECORD en 2005<sup>1</sup>.

Ces résultats montrent que si les données d'entrée sont bien maîtrisées et en présence de topographie peu marquée, l'incertitude sur les résultats du modèle n'excède pas 50% en moyenne annuelle, 40% sans obstacles majeurs sur site. Pour les sources plus élevées de type cheminée, cette incertitude reste inférieure à 20%.

Le tableau suivant liste les principales composantes du site et de son environnement, susceptibles, par leur complexité, de favoriser l'augmentation des incertitudes dans le calcul de dispersion. La complexité de ces composantes est classée suivant les critères : nulle, faible, moyenne, élevée.

**Tableau 65 : Complexité du site et de son environnement**

| Modèle                             | Complexité      | Commentaires                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Relief sur le domaine              | Faible          | Le relief est peu marqué sur le domaine d'étude, et ne devient significatif qu'en bordure du domaine (à l'est, au niveau de la chaîne de l'Estaque). Des tests de sensibilité ont été réalisés.                                                |
| Obstacles autour de l'installation | Nulle à élevée  | Aucun obstacle ne devrait perturber les émissions provenant des grandes sources canalisées (cheminées). En revanche, il est possible que certaines sources diffuses basses soient entourées d'obstacles (impact local).                        |
| Météorologie                       | Moyenne         | Présence de la mer à proximité directe de la zone. A noter que les phénomènes de recirculation et d'accumulation ne sont pas pris en compte par le modèle.                                                                                     |
| Complexité des sources             | Faible à élevée | Certaines sources diffuses sont relativement complexes (émissions irrégulières sur de grandes surfaces, ou pouvant être plus difficiles à évaluer que pour des sources canalisées).                                                            |
| Echelles spatiales étudiées        | Faible          | Les sites industriels s'étendent sur une zone de quelques kilomètres. Le domaine d'étude final atteint 22 kilomètres de côté, étendue importante, mais qui reste dans les limites de validité du modèle, et sur une zone au relief peu marqué. |

On retiendra que les principales difficultés relatives à la complexité du site étudié sont :

- La complexité de certaines sources diffuses, difficiles à modéliser. Pour ces sources, la principale incertitude est à notre avis liée à la quantification des émissions (voir paragraphe suivant).
- La complexité de la météorologie locale. La présence de la mer, ainsi que de l'étang de Berre peuvent induire des phénomènes d'accumulation et de recirculation générés par la météorologie complexe de la zone.

- Incertitudes relatives aux données d'entrée

<sup>1</sup> Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, Ecole Centrale de Lyon, Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel – Vers un guide de l'utilisateur – 2ème partie: évaluation des modèles, 2005.

Un bon modèle peut donner de mauvais résultats, si les données d'entrée sont de mauvaise qualité. Le tableau suivant regroupe les principaux paramètres d'entrée du modèle de dispersion ADMS, et qualifie leur qualité selon les critères : mauvaise, moyenne, bonne.

**Tableau 66 : Qualité des données d'entrée du modèle**

| Données d'entrée                       | Qualité                     | Commentaires                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Occupation des sols                    | Bonne                       | Données de la base Corrine Land Cover de l'IFEN, paramètres de rugosité variant spatialement sur le domaine en fonction du type de sol rencontré.                                                                                                                                |
| Données météorologiques                | Bonne                       | Les données ont été collectées auprès de la station Météo France d'Istres, la plus proche de la zone, sur 5 années complètes consécutives.                                                                                                                                       |
| Localisation des sources               | Bonne                       | Coordonnées globalement précises fournies par les industriels.                                                                                                                                                                                                                   |
| Caractéristiques physiques des sources | Moyenne                     | Faute de données précises, les obstacles (bâtiments,...) près des sources n'ont pu être intégrés dans le modèle.                                                                                                                                                                 |
| Valeurs d'émission des sources         | Moyenne                     | Incertitudes directement liées à qualité de la base de données.                                                                                                                                                                                                                  |
| Définition des polluants               | Bonne pour les gaz          | L'hypothèse est faite que les gaz se dispersent comme un traceur passif, hypothèse tout à fait réaliste compte tenu des concentrations faibles étudiées.                                                                                                                         |
|                                        | Moyenne pour les particules | A défaut de valeurs disponibles, l'ensemble des poussières est assimilé à des particules de 2,5 µm et de masse volumique 5000 kg/m <sup>3</sup> . Cette dernière valeur est recommandée par l'ASTEE (2003) pour les particules émises par les incinérateurs d'ordures ménagères. |

Les données d'entrée du modèle sont globalement de bonne qualité. En ce qui concerne les sources, leurs caractéristiques et données d'émission ont été fournies par les industriels. Certains termes sources sont très bien définis, d'autres (sources diffuses notamment) ont dû faire l'objet d'estimations. Les sources diffuses concernent majoritairement les émissions de poussières<sup>1</sup> d'ARCELOR et du terminal minéralier.

Quant aux obstacles éventuels situés à proximité directe des sources, on peut estimer que leur effet sera relativement local, et qu'ils ne modifieront pas les conclusions de l'étude basée sur l'exploitation des concentrations moyennes annuelles.

#### • Conclusion

On retiendra globalement que les données du modèle sont de bonne qualité. La comparaison aux mesures réalisées pour le SO<sub>2</sub> dans la partie 4.3.1 : Validation des données météorologiques montre de bons résultats, et laisse supposer que les incertitudes relatives aux phénomènes de dispersion et à la météorologie sont en grande partie maîtrisées. Cette comparaison montre une légère sous-estimation du modèle (de l'ordre de 15% dans le cas du SO<sub>2</sub>), excepté pour les stations les plus à l'est de la zone pour lesquelles la sous-estimation est plus importante. Cette différence s'explique par la présence d'un bruit de fond non nul, et au niveau des stations de l'est, par un impact important des sources de la zone de Lavéra.

<sup>1</sup> Majoritairement PM<sub>10</sub> et PM<sub>10</sub>. Respectivement 48% et 36% sur ARCELOR et 36% et 50% sur le terminal minéralier.

## 7.9 Paramètres d'exposition et de modélisation des transferts

Nous avons employé les équations des logiciels existant sur le marché pour modéliser de façon couplée les transferts et les expositions. Elles ont été réécrites sous EXCEL afin de pouvoir modifier la totalité des paramètres d'entrée et prendre en compte certaines spécificités de l'approche française vis-à-vis de l'approche américaine ou hollandaise. Toutefois, il est important de souligner que l'approche reste empirique.

Des calculs de concentration dans les sols, les légumes, la viande et les œufs ont donc été réalisés en se basant sur les pratiques en vigueur (notamment US-EPA 1998).

Pour les métaux, le compartiment "sol" contribue à plus de 89 % à la dose moyenne d'exposition. Pour les dioxines, l'ingestion d'œuf contribue à 84 % à la dose moyenne d'exposition.

Ainsi, il apparaît que certains paramètres utilisés dans les équations mises en œuvre peuvent présenter une source d'incertitudes et influencer les résultats du risque.

### Quantité de sols ingérés

Dans le cadre de la présente étude, les quantités de sols ingérées par jour de présence sur le site ont été considérées comme suit : pour la présence d'adultes et d'enfants dans leurs jardins privés, les débits respectifs de 50 et 150 mg/événement considérés ne tiennent pas compte de la durée de présence de ces cibles dans leurs jardins.

L'US-EPA (2001) recommande de ne pas tenir compte de la relation linéaire entre le temps de présence et la quantité de sol ingéré, l'évènement considéré par l'US-EPA ayant une durée de 24 heures. Cette recommandation est suivie par un certain nombre de modèles intégrés dont RISC 4.0 (Waterloo Hydrogeologics). L'INERIS cependant considère que cette approche est exagérément conservatoire et recommande de pondérer les quantités de sol ingéré par le taux de présence horaire.

Compte tenu de ces éléments et des incertitudes importantes liés à cette évaluation, l'approche retenue par BURGEAP apparaît conservatoire pour les fréquentations des espaces verts, et suit le principe de précaution. Nous considérons que la surestimation potentielle du risque peut être d'un facteur 2 ou plus (si la fréquentation en période estivale peut être journalière, en période hivernale, elle est probablement nettement plus faible).

### Utilisation de facteurs de bioconcentration

Les incertitudes importantes sur les concentrations dans les végétaux évaluées engendrent une incertitude tout aussi importante sur l'estimation du risque induit par la consommation de végétaux autoproduits. Cependant, en l'état actuel des connaissances scientifiques et techniques, celle-ci ne peut être réduite. L'approche retenue qui suit le principe de prudence et de proportionnalité (écartant les facteurs de bioconcentrations extrêmes) permet cependant de conclure sur l'acceptabilité du risque.

### Temps d'exposition

Il a été pris en compte pour l'élaboration des quotients de dangers et des excès de risque individuel, l'hypothèse que la population du domaine d'étude est exposée aux rejets du site 100 % du temps, dans le scénario habitation. Or, il s'avère que cette hypothèse est majorante au vu des données issues de la base CIBLEX. Cette base de données, élaborée par l'ADEME et l'Institut de Radioprotection de Sécurité Nucléaire (IRSN), contient de nombreux paramètres descriptifs de la population française et notamment le budget espace/temps, c'est-à-dire le temps passé à l'intérieur et à l'extérieur du lieu d'habitation.

Le tableau suivant présente, pour la population adulte, le temps moyen passé hors du lieu d'habitation (données régionales – Provence-Alpes-Côte d'azur). Les activités présentées sont données à titre d'exemple, cette liste n'étant pas exhaustive.

**Tableau 67: Temps passé à l'extérieur du lieu d'habitation en min/jour**

|                                  | Adulte      |                | Enfant    |           |
|----------------------------------|-------------|----------------|-----------|-----------|
|                                  | 17 à 60 ans | Plus de 61 ans | 1 à 2 ans | 2 à 7 ans |
| Promenade dans le jardin         | 27          | 99             | -         | -         |
| Jardinage                        | 78          | 110            | -         | -         |
| Promenade hors lieu d'habitation | 97          | 126            | 45        | 75        |
| Lieu de travail                  | 400         | 276            | 240       | 210       |

D'après les informations mentionnées dans ce tableau, la population adulte ou enfant passe une partie de son temps non négligeable à l'extérieur de leur habitation.

Ces données confirment que l'hypothèse retenue (exposition 100 % du temps sur le lieu d'habitation) est source d'incertitude concernant les valeurs d'indice de risque des polluants à effets systémiques et cancérogènes.

Concernant le scénario enfant, des temps d'exposition de 7 ans et 11 ans ont été pris en compte, contre une exposition a priori de 3 ans seulement pour les écoles maternelles et 5 ans pour les écoles primaires. Dans tous les cas, les temps d'exposition retenus sont supérieurs à ceux de la fréquentation des établissements. Ce paramètre influe sur le risque cancérogène qui a donc été surestimé.

## Poids

Les poids retenus dans le cadre de cette étude sont légèrement inférieurs aux poids CIBLEX (respectivement 60 kg, 30kg et 15 kg pour un adulte, un enfant entre 7-12 ans et un enfant entre 2-7 ans contre 62,5 kg, 30,6 kg et 17,2 kg dans la base de données CIBLEX). Cette hypothèse est majorante, mais ne présente qu'un impact très limité sur les niveaux de risque estimés.

## 7.10 Calculs de risques sanitaires

### 7.10.1 Par organe cible

La démarche retenue pour le calcul des risques sanitaires par organe cible dans cette étude est majorante. En effet, pour un polluant et une VTR, plusieurs organes cibles ont été considérés.

Or, les VTR sont construites pour un seul effet critique, soit un seul organe cible. Les substances peuvent également avoir d'autres effets sur d'autres organes cibles mais généralement moins sévères et ne disposant pas de VTR. La prise en compte de la VTR, construite sur l'effet critique principal, pour tous les organes cibles est donc majorante.

A noter qu'à contrario, la non prise en compte des autres organes cibles correspondrait à minorer les risques pour ces organes cibles, et à les considérer comme nul alors qu'ils peuvent exister.

### 7.10.2 Par ingestion

L'évaluation des risques sanitaires par ingestion réalisée dans cette étude a permis de déterminer :

- Le risque sanitaire actuel, à partir des mesures de concentration dans les sols,
- La contribution des industriels au risque sanitaire actuel et futur à partir des modélisations,

mais pas le risque sanitaire futur lié à l'ingestion qui est le résultat de la pollution actuelle des sols et de la pollution qui continuera de s'y déposer.

Dans la mesure où le risque sanitaire actuel n'est basé que sur les résultats d'analyse de 6 prélèvements ponctuels dont seulement 4 en sol superficiel (0-2cm), sol le plus susceptible d'être ingéré, et dont les résultats sont très hétérogènes, la campagne de mesure n'est pas jugée comme suffisamment représentative de l'état initial de la zone pour pouvoir être exploitée. Aucune sommation des risques état initial + état modélisé n'a été réalisée.

Un plan d'échantillonnage et d'analyse conséquent est en cours de réalisation sur la zone de Fos sur mer, dans le cadre du projet AIGRETTE. Les résultats de cette étude pourraient être utilisés pour compléter ces données.

On notera également que dans le cadre de l'évaluation des risques sanitaires par ingestion, la non prise en compte des consommations en légumes fruits ou fruits sous-estime légèrement les niveaux d'exposition calculés.

### 7.10.3 Sur les travailleurs

Les calculs de risque sanitaire sur les travailleurs sont soumis à de plus fortes incertitudes que les risques sur la population riveraine, du fait :

- de la construction des valeurs toxicologiques de références choisies (§.7.5 : Les valeurs toxicologiques de référence),
- de la non prise en compte des différences de concentration entre l'air extérieur et l'air intérieur des bâtiments industriels (différence plus marquée que pour les riverains du fait de la fréquente présence de filtre à air dans les bâtiments industriels),
- des plus fortes incertitudes engendrées par la modélisation sur les concentrations les plus élevées, à proximité des sources.

On rappelle également que le risque travailleur dépasse la valeur repère de 1 uniquement sur le terminal minéralier avec un quotient de danger et un ratio calculés à 6,1 et 2,0 respectivement pour les PM<sub>2,5</sub> et les PM<sub>10</sub>\*. Sur ce site, où le terme source est soumis à de fortes incertitudes, des mesures de PM<sub>10</sub> avaient été réalisées dans le cadre de la surveillance du PAM et montrent une surestimation de la modélisation de près d'un facteur 10.

### 7.11 La pollution de fond

La pollution de fond n'a pas été intégrée dans cette étude de risque et minimise par conséquent les risques sanitaires principalement :

- En agglomération, puisque seul le trafic routier sur les routes nationales a été pris en compte,
- A l'est du domaine et principalement sur la commune de Port de Bouc puisque la zone est soumise à l'influence des industriels de Lavéra.

## 8 Conclusion générale et perspectives de l'étude

BURGÉAP a réalisé une étude de risque sanitaire globale sur les rejets atmosphériques et aqueux de la Zone Industrielle Portuaire de Fos-sur-Mer dans les Bouches-du-Rhône (13).

L'étude sur les risques aigus, en fonctionnement normal des installations, a été abordée mais cette partie nécessite d'être approfondie. Elle fera l'objet d'une étude à part entière.

L'étude présentée porte sur les risques chroniques, en fonctionnement normal des installations, sur plusieurs horizons (2005 et 2011), pour une exposition des populations riveraines et des travailleurs.

Cette démarche a pour objectif de déterminer la zone d'influence des rejets de la ZIP et les niveaux de risque sanitaire associés. Elle doit permettre de fournir l'information nécessaire aux instances administratives pour mettre en place des plans de gestion et, si nécessaire, de réduction des émissions atmosphériques.

Cette étude s'est déroulée en plusieurs phases présentées au fur et à mesure au comité de pilotage (COPIL) constitué d'industriels, du port autonome, de représentants des communes, de l'association de la qualité de l'air (AIRFOBEP) et des représentants de l'état (DRIRE, DDASS, CIRE).

Le cadre méthodologique choisi pour mener cette étude est construit d'après les documents de référence actuellement en vigueur en France<sup>1</sup>.

La première étape a consisté à réaliser un bilan complet consolidé de l'ensemble des émissions atmosphériques de la zone de Fos : les émissions des sources fixes industrielles ainsi que celles liées aux trafics maritimes et routiers. L'année de référence choisie est l'année 2005, les chiffres de 2005 étant les plus consolidés et les plus complets au démarrage de l'étude. L'année de projection choisie est 2011, année permettant d'intégrer les futures activités industrielles et les objectifs de réduction des émissions imposés d'ici 2010. Cette phase est primordiale puisqu'elle permet l'estimation du terme source. Le recensement des émissions a porté sur 24 sites industriels. Ces informations sont renseignées pour 84 substances. La spéciation des COV (principales données manquantes lors du recueil) a été complétée par des recherches bibliographiques adaptées aux secteurs d'activité concernés.

La seconde étape a permis de caractériser les habitudes comportementales de la population riveraine et de définir des scénarios d'exposition réalistes en ajustant au mieux, les paramètres d'exposition retenus. Il a été choisi de retenir une exposition par inhalation d'air et une exposition par ingestion de sol, de végétaux, de viande de mouton, d'œufs, de poissons, de coquillage et de lait maternel.

L'identification des effets toxiques nous a permis dans un premier temps d'écarter les substances considérées comme non toxiques dans les bases de données consultées, pour lesquelles il n'existe pas de phrase de risque pour la voie d'exposition considérée et pour lesquelles il n'y a pas de VTR disponible. Dans un second temps, nous avons effectué un choix de « traceur du risque » en comparant les substances entre elles et en tenant compte à la fois des quantités émises (en flux annuel) et de la toxicité des composés. Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) utilisées dans le cadre de cette étude sont choisies selon une démarche raisonnée et fondée sur des critères toxicologiques, tout en tenant compte de la Circulaire DGS/SD. 7B n°2006-234 du 30 mai 2006.<sup>2</sup> Au final, 28 polluants ont été retenus pour réaliser l'étude des risques sanitaires.

<sup>1</sup> le guide méthodologique INERIS<sup>1</sup> de Juillet 2003 sur l'évaluation des risques sanitaires qui définit les principes généraux de l'évaluation des risques sanitaires ainsi que le " Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact – février 2000" de l'InVS<sup>1</sup>.

<sup>2</sup> Circulaire relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations de risques sanitaires dans le cadre des études d'impact

L'estimation de l'exposition des populations recensées a été réalisée par modélisation à l'aide du logiciel ADMS URBAN. Les concentrations et dépôts, pour l'ensemble des substances retenues comme "traceur", ont été calculés sur tout le domaine d'étude, après validation du modèle par comparaison des résultats des concentrations de SO<sub>2</sub> modélisées avec les concentrations mesurées par le réseau de surveillance de la qualité de l'air : AIRFOBEP.

Pour la quantification du risque, les niveaux d'exposition obtenus ont été comparés aux valeurs de référence à partir desquelles un effet sanitaire peut être observé. Pour les effets à seuil, les niveaux de risques sont évalués pour chaque substance et pour chaque organe cible. Les résultats sont comparés à la valeur repère de 1. Pour les effets sans seuil, les niveaux de risques sont évalués pour chaque substance et de façon globale. Les résultats sont discutés selon une échelle précise : risque supérieur à 10<sup>-4</sup> : risque significatif ; entre 10<sup>-4</sup> et 10<sup>-6</sup> : les hypothèses prises en compte sont discutées ; inférieur à 10<sup>-6</sup> : risque non significatif. Le risque cancérigène est étudié de façon globale afin d'apprécier le risque cancérigène global qui pèse sur la population exposée.

Les résultats de l'étude ont permis de hiérarchiser les risques en classant les polluants en plusieurs catégories :

➤ Un polluant dépassant les valeurs repères :

- Arsenic : Le quotient de danger et l'excès de risque individuel calculés pour l'arsenic lors de l'ingestion de sol, suite à la campagne de mesure, sont supérieurs aux valeurs repères pour un point de prélèvement et restent proches des valeurs repères pour les autres. Ces risques pourraient provenir majoritairement du bruit de fond géochimique local et non pas des sources d'émissions industrielles. Cette hypothèse est à confirmer par une étude plus poussée<sup>1</sup>.

A noter que, le quotient de danger chronique et l'excès de risque individuel sommé calculés pour l'arsenic lors de l'ingestion de moules et de coquillages étaient proches des valeurs repère. Les incertitudes discutées sur le terme source montrent une majoration des doses d'exposition prises en compte dans l'étude. Le risque sanitaire est jugé non significatif pour cette voie d'exposition.

➤ Un polluant dépassant les valeurs repères dont le terme source est entaché d'une grande incertitude

- Les poussières : Pour une exposition chronique aux poussières émises par la ZIP de Fos-sur-Mer, le risque calculé dépasse les valeurs repères uniquement pour les travailleurs du terminal minéralier. La discussion des incertitudes montre une majoration des concentrations modélisées à minima d'un facteur 10, correction suffisante pour passer en dessous des valeurs repères.

➤ Deux polluants proches des valeurs repères et pour lesquels des compléments d'information sont nécessaires compte tenu des incertitudes

- Dichloroéthane : L'ERI du dichloroéthane est de 3.10<sup>-6</sup> au récepteur le plus impacté et de 5,8.10<sup>-5</sup> pour un travailleur de VINYLFOFOS, valeur d'ERI comprise dans l'intervalle 10<sup>-6</sup>-10<sup>-4</sup>, intervalle où les incertitudes ont été discutées. La qualité du terme source est moyenne compte tenu de la nature des sources émettrices (sources diffuses : caniveaux et BOG<sup>2</sup>) et l'incertitude difficile à évaluer. Nous sommes dans des gammes de concentration où des risques sanitaires pourraient se produire.

- Chrome VI : L'ERI du chrome VI est de 1,5.10<sup>-6</sup> au récepteur le plus impacté et de 6,5.10<sup>-6</sup> pour un travailleur d'ASCOMETAL, valeur d'ERI comprise dans l'intervalle 10<sup>-6</sup>-10<sup>-4</sup>, intervalle où les incertitudes ont été discutées. La qualité du terme source est faible compte tenu de l'hypothèse de répartition Cr

<sup>1</sup> Le projet aigrette actuellement en cours pourra répondre à cette question

<sup>2</sup> BOG = bassin d'orage général servant d'exutoire pour les caniveaux et les dalles de rétention sous les ateliers

VI prise à 10% du chrome total est considérée comme majorante. Une confirmation des valeurs spécifiques à ASCOMETAL serait nécessaire.

➤ Deux polluants proches des valeurs repères, qu'il est nécessaire de surveiller

- NO<sub>2</sub> : Pour une exposition chronique au NO<sub>2</sub>, la comparaison des concentrations en moyenne annuelle à la valeur guide existante montre des concentrations modélisées aux récepteurs inférieures de plus d'un facteur 2. A proximité des routes nationales, elles peuvent être du même ordre de grandeur que la valeur guide.

- SO<sub>2</sub> : la prise en compte de la valeur guide revue par l'OMS de 20 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière, montre que les concentrations en moyenne annuelle aux récepteurs sont inférieures mais du même ordre de grandeur que la valeur guide, ce qui peut laisser supposer un dépassement possible en moyenne journalière. Ces risques aigus feront l'objet d'une étude plus approfondie.

➤ Un polluant inférieur aux valeurs repères, qu'il est préférable de surveiller

- dioxines : le quotient de danger chronique calculé pour l'ingestion de dioxines dans les sols, végétaux, œufs et viande, pour un scénario d'exposition majorant est de 0,1, inférieur à la valeur repère de 1. Nous sommes donc dans des gammes de concentration où les risques sanitaires sont non significatifs. Ce polluant reste tout de même à surveiller.

➤ Enfin, tous les autres polluants sont inférieurs ou très inférieurs aux valeurs repères et l'analyse des incertitudes n'est pas de nature à remettre en cause les conclusions.