

RAPPORT D'ÉTUDE
N°DRC-11-123950-09063A -

23/08/2011

**Caractérisation des concentrations en
hydrogène sulfuré et autres
composés soufrés sur la plage de la
baie de Morieux (22) et à
l'embouchure du Gouessant**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Caractérisation des concentrations en hydrogène sulfuré et autres composés soufrés sur la plage de la baie de Morieux et à l'embouchure du Gouessant

MEDDTL / DGPR / SPNQE

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

Céline Boudet – Marc Durif - Fabrice Godefroy – Sylvain Bailleul – Faustina Fuvel – Didier Granier – Arnaud Papin

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

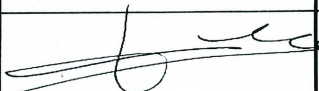
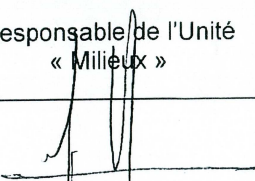
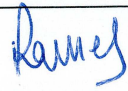
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Anne-Sophie CLINCKE	Marc DURIF	Martine RAMEL
Qualité	Direction des Risques Chroniques Responsable d'Affaires à l'Unité « Milieux »	Direction des Risques Chroniques Responsable de l'Unité « Milieux »	Direction des Risques Chroniques Responsable du Pôle « Risques et technologies durables »
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION / CONTEXTE	13
2. MESURES A LA SOURCE.....	15
2.1 Méthodes mises en œuvre.....	15
2.2 Points de mesures.....	17
2.3 Résultats	19
2.4 Observations de terrain relevées	21
2.5 Interprétation des résultats de mesures réalisées à la source en termes sanitaires.....	21
2.5.1 Introduction à la toxicité du H ₂ S.....	21
2.5.2 L'exposition en situation accidentelle et/ou de très courte durée.....	22
2.5.2.1 Cas d'une situation assimilée à un contexte accidentel	22
2.5.2.2 Cas d'une situation assimilée à une exposition de courte durée	24
3. MESURES DANS L'ENVIRONNEMENT.....	26
3.1 Méthode de mesures.....	26
3.2 Résultats	27
3.3 Interprétation des résultats de mesures dans l'air ambiant en termes en termes sanitaires.....	30
3.3.1 Exposition sub-chronique de la population générale, riveraine de la plage ou de l'estuaire	30
3.3.2 Exposition sub-chronique pour la population générale, ayant des activités dans l'estuaire	32
4. LISTE DES ANNEXES	35

GLOSSAIRE

CH₃SH : méthylmercaptan

C₂H₅SH : éthylmercaptan

DMS : diméthylsulfure

DMDS : diméthyldisulfure

H₂S : hydrogène sulfuré

ONCFS : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

TRS : composés soufrés réduits totaux. Indice global correspondant à la somme des concentrations mesurées en hydrogène sulfuré, mercaptans et en sulfures

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : localisation des lieux où des cadavres de sangliers ont été retrouvés (carte établie à partir de données fournies par l'ONCFS).....	13
Figure 2 : localisation des points de mesures à la source dans la baie de Morieux	18
Figure 3 : concentrations en H ₂ S mesurées à la source dans la baie de Morieux	21
Figure 4 : localisation des emplacements de mesures en air ambiant	26
Figure 5 : rose des vents de la période suivie	27
Figure 6 : concentrations d'H ₂ S mesurées sur la zone d'étude	28
Figure 7 : relation entre les concentrations en H ₂ S et les marées sur Morieux (graphe issu d'Air Breizh)	29
Figure 8: pression, température et humidité – campagne globale.....	51
Figure 9: histogramme des vitesses de vent	52
Figure 10: fréquence moyenne (%) des vents – direction et vitesse	52

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1 : chambre d'échantillonnage sur les algues vertes en décomposition	15
---	----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : résultats des mesures réalisées à la source (valeurs représentatives d'émission de type « bouffées »).....	20
Tableau 2 : concentrations issues du tableau 1 retenues pour caractériser une exposition instantanée (H ₂ S)	23
Tableau 3 : concentrations d'exposition retenues (H ₂ S).....	24
Tableau 4 : Quotient de danger (QD) suite au perçage d'une croûte/surface d'un tas d'algues vertes en décomposition/vasière – d'après mesures d'émission in situ	25

Tableau 5 : concentrations d'H ₂ S mesurées.....	28
Tableau 6 : Concentrations d'exposition sub-chronique– Riverains pendant la saison (H ₂ S)	31
Tableau 7 : Quotients de danger (QD) pour les risques sub-chroniques pour la population riveraine	32
Tableau 8 : Concentration d'exposition subchronique estimée – Chasseurs/Randonneurs dans l'estuaire (H ₂ S)	32
Tableau 9 : Quotient de danger pour les risques sub-chroniques pour la population générale (chasseurs et randonneurs).....	33

RESUME - SYNTHÈSE

Contexte

Depuis le début du mois de juillet 2011, une mortalité importante de sangliers a été constatée dans ou à proximité immédiate de la baie de Morieux, département des Côtes d'Armor. Des cadavres de sangliers ont été retrouvés dans la baie, à des dates différentes (entre début juillet et début août 2011) et ont fait l'objet d'autopsies et d'analyses. Suite aux investigations conduites sous l'autorité du préfet, plusieurs hypothèses ont été examinées, dont celle d'une intoxication par l'hydrogène sulfuré (H_2S) provenant d'émanations d'algues en décomposition dans de la vase.

L'INERIS a été sollicité par le Ministère de L'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (DGPR) pour apporter un appui scientifique et technique au préfet des Côtes d'Armor pour :

- D'une part contribuer au diagnostic de la cause de mortalité des animaux observée, notamment pour l'interprétation des commémoratifs, des autopsies et des résultats d'analyse existants en s'appuyant sur ses connaissances en toxicologie et en chimie (rapport INERIS-DRC-11-109441-09134A)
- D'autre part procéder à une caractérisation du milieu de la baie de Morieux au regard des émissions d' H_2S , et des niveaux de concentration en H_2S dans l'air ambiant à proximité des zones fréquentées par les populations, afin d'apporter des éléments de réponse sur les risques potentiels pour la population (objet du présent rapport).

La campagne de mesures

Une phase de la campagne, réalisée les 05 et 06 août 2011, a permis de caractériser dans différentes zones de la baie les émissions en composés soufrés réduits et, plus particulièrement, les émissions d'hydrogène sulfuré (H_2S) liées à la fermentation des algues vertes.

L'INERIS a effectué des mesures sur le sol à l'aide d'une chambre de mesures équipée d'un dispositif permettant de percer la surface étudiée et donc de susciter l'émission du gaz emprisonné. Les résultats de mesures obtenus par ce système permettent donc d'approcher les niveaux de concentrations des gaz présents en surface immédiate des sédiments étudiés lorsqu'ils sont sollicités mécaniquement. Il ne s'agit pas, à proprement parlé, de mesure de flux (μg de polluant/h) car le débit (m^3/h) d'émission d'air n'est pas déterminé. Ces résultats représentent donc une émission instantanée ou bouffée.

Cinq points de prélèvement ont été sélectionnés :

- 2 points de mesures sur la plage : le premier situé à l'entrée de la plage Saint-Maurice (sur une vasière importante), et le second à 250 mètres à l'Ouest de l'entrée de la plage de Saint-Maurice (sur un petit tas d'algues vertes constitué d'algues fraîches et d'algues plus anciennes),
- 3 points dans l'estuaire à des emplacements où des sangliers ont été retrouvés morts, au niveau du lit du Gouessant.

Les mesures mettent en évidence l'effet d'une sollicitation mécanique des dépôts d'algues qui déclenche immédiatement des dégagements importants de composés soufrés (principalement H_2S , qui représente entre 73 et 98 % des composés soufrés réduits).

Les concentrations d'émission les plus élevées en hydrogène sulfuré ont été mesurées, au niveau du sol, sur la plage Saint-Maurice (concentrations 1000 fois plus élevées sur la plage que dans l'estuaire). Elles ont atteint plus de $3\,000\text{ mg}/m^3$ au pied de la cale Saint-

Maurice (zone présentant une vasière importante) et près de 1 500 mg/m³ sur le tas d'algues vertes situé à 250 mètres du bord de plage. Les détecteurs, placés à la taille des opérateurs, ont fourni des valeurs plus faibles, de 15 à plus de 140 mg/m³.

D'après son retour d'expérience sur des sites industriels (stations de traitements des eaux usées, par exemple) ou dans des ambiances particulières (égouts, ouvrages souterrains), l'INERIS rencontre rarement des concentrations en H₂S supérieures à 1000 mg/m³ et plutôt dans des milieux confinés. Le même ordre de grandeur a cependant été retrouvé lors de la campagne INERIS réalisée en 2009 sur la plage de Saint-Michel en Grève (22)¹. En 2010, l'INERIS, lors d'une campagne de mesures réalisées sur une plateforme de compostage d'algues vertes, a mesuré des concentrations en H₂S allant jusqu'à 120 mg/m³. Les mesures ont été réalisées avec la même chambre (solicitation mécanique des algues vertes) mais en procédant avec un balayage de la chambre avec de l'air (dilution de l'air analysé).

Un autre phase de la campagne de mesures s'est déroulée du 04 au 11 août 2001, en vue d'évaluer les concentrations en H₂S auxquelles les populations riveraines ou fréquentant la plage de Morieux et la zone d'estuaire peuvent être exposées. Pour ce faire, l'INERIS a installé des systèmes de prélèvement (tubes de diffusion) permettant d'obtenir une concentration moyenne d'exposition sur une semaine. Sept points de prélèvement ont été sélectionnés :

- En fonction des lieux où des sangliers ont été retrouvés, qui peuvent être également pour certains des lieux de passage (ponctuels) de chasseurs (voire de randonneurs),
- En fonction des habitations les plus proches de l'estuaire et de la plage.

Un huitième emplacement a été retenu afin d'obtenir le bruit de fond de la zone d'étude. Afin de suivre en continu les conditions météorologiques locales tout au long de la campagne de mesure, l'INERIS a également installé une station météorologique sur cette même période. Elle a été positionnée au niveau de l'emplacement proche des premières habitations de l'estuaire, sur lequel Air Breizh² a installé un analyseur en continu d'H₂S en parallèle.

Les concentrations moyennes les plus élevées (entre 140 et 210 µg/m³) ont été mesurées dans l'estuaire dans les zones les moins accessibles. Plus près de l'embouchure de l'estuaire, elles sont plus faibles (environ 50 et 70 µg/m³).

Les concentrations moyennes mesurées à proximité des habitations, côté estuaire et côté plage, sont respectivement de 18 et 16 µg/m³ et correspondent à des concentrations supérieures au seuil olfactif de l'H₂S (entre 0,7 et 14 µg/m³). Air Breizh trouve des résultats similaires à proximité de l'habitation de l'estuaire, avec une bonne corrélation avec le phénomène des marées. Les pics de concentration en H₂S correspondent à des périodes de basse mer et les concentrations proches de la limite de quantification correspondent à des périodes de marée haute.

Comparées à la concentration obtenue à l'emplacement témoin de la zone d'étude (2,9 µg/m³), les concentrations moyennes sur l'ensemble de la période étudiée sont, en chacun des emplacements, de l'ordre de 5 à 75 fois supérieures. Ce bruit de fond local,

¹ INERIS, rapport d'étude DRC-09-108407-10226A « Résultats de mesures ponctuelles des émissions d'hydrogène sulfuré et autres composés gazeux potentiellement toxiques issues de la fermentation d'algues vertes (ulves) – Mesures réalisées le 13 août 2009 à Saint-Michel-en-Grève » du 19/08/2009.

² Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air de Bretagne

est lui-même un peu supérieur à ce qui est généralement observé dans l'air ambiant (0,15 à 0,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

L'interprétation en termes sanitaires

Les mesures réalisées sur le site de la baie de Morieux, lors de ces campagnes, ont été limitées dans l'espace et dans le temps et ne peuvent pas être généralisées, même si certains résultats corroborent ceux obtenus antérieurement sur des sites similaires.

Mesures à la source :

Les mesures réalisées à l'émission, en surface de dépôts d'algues sur la plage, représentatives d'une bouffée instantanée, peuvent dépasser les seuils létaux (Seuil des effets létaux significatifs pour un temps d'exposition de une minute : 2408 mg/m^3). Elles sont au minimum supérieures au seuil des effets irréversibles. Les concentrations retrouvées dans l'estuaire restent inférieures au seuil d'effet irréversible.

Il faut toutefois considérer cette interprétation basée sur de la mesure instantanée en regard de la réalité des expositions humaines possibles. Une chute ou un perçage de croûte ne peuvent pas être totalement écartés (cavalier tombant d'un cheval, enfant jouant dans le sable...), mais la probabilité qu'un accident survienne sur les points les plus émissifs et que la personne reste immobilisée suffisamment longtemps pour atteindre les seuils d'effet létaux est limitée.

Les résultats obtenus à la source peuvent également être interprétés au regard d'expositions de courte durée « non accidentelles », à partir d'une approche classique d'évaluation des risques. L'individu est supposé soumis aux concentrations qui ont été mesurées en direct par les opérateurs avec le détecteur placé à la taille. Ces valeurs (de 15 à plus de 140 mg/m^3) se situent à des niveaux pour lesquels des effets ont été observés sur l'Homme, notamment une anesthésie de l'odorat. Cependant, la mesure représente une sollicitation instantanée de la surface assimilée à une durée d'exposition d'une heure (un promeneur peut marcher 1 heure sur la plage et déclencher plusieurs bouffées mais, en général, il ne piétine pas 1 heure au même endroit et la bouffée ne reste pas constante).

Dans tous les cas, compte tenu des caractéristiques olfactives de l' H_2S , le scénario le plus probable est que des promeneurs ne resteront pas dans les zones les plus malodorantes.

Mesures dans l'environnement :

Les mesures dans l'air ambiant sur une semaine sont représentatives d'une exposition (sub)-chronique. Celles disponibles à proximité des premières habitations de la plage ou de l'estuaire sont utilisées pour caractériser les expositions des riverains.

On a volontairement considéré que les populations riveraines sont continuellement exposées aux concentrations ambiantes mesurées au niveau des premières habitations de la plage ou de l'estuaire, (ce qui se traduit par une concentration identique dans tous les lieux de vie fréquentés) et que la saison d'échouage des algues s'étend principalement de juin à septembre : la saison d'exposition potentielle dure donc 4 mois.

Les valeurs de concentrations en H₂S sont inférieures à la Valeur Toxicologique de Référence (VTR) de l'ATSDR³ pour une durée d'exposition sub-chronique. Il semble, donc que le fait de résider à proximité de la plage ou de l'estuaire toute la saison, tenant compte des deux hypothèses retenues, ne semble pas présenter de risque préoccupant pour la santé des populations concernées.

Toutefois, la poursuite du ramassage des algues, suivant les recommandations préalables de l'INERIS et de l'ANSES, dans les zones accessibles, limitera les émissions et donc les concentrations dans l'air ainsi que les expositions potentielles et les nuisances olfactives.

Un autre scénario a consisté à s'intéresser à l'exposition des chasseurs et randonneurs occasionnels dans les zones les plus accessibles de l'estuaire. Les concentrations y sont plus importantes, mais la fréquence d'exposition est réduite (l'estuaire n'étant accessible qu'à marée basse). Sous réserve de la représentativité des mesures, l'exposition ne semble pas présenter de risques préoccupants.

Dans les zones les moins accessibles de l'estuaire, les concentrations pourraient être plus importantes. La possibilité de pénétrer dans ces zones déjà peu accessibles, et dangereuses par ailleurs (escarpées, vasières dangereuses même en dehors de tout dégagement d'H₂S), devrait être limitée au maximum. En particulier, sur le GR34 bien balisé mais parfois proche de certaines zones où des prélèvements ont eu lieu, devraient être installés des panneaux indiquant de ne pas quitter le chemin.

³ Agency for Toxic Substances and Disease Registry du Département de la Santé du gouvernement américain.

1. INTRODUCTION / CONTEXTE

Depuis le début du mois de juillet 2011, une mortalité importante de sangliers a été constatée dans ou à proximité immédiate de la baie de Morieux, département des Côtes d'Armor. Des cadavres de sangliers ont en effet été retrouvés dans la baie de Morieux (Figure 1) à des dates différentes (entre début juillet et début août 2011) et ont fait l'objet d'autopsies et d'analyses. Suite aux investigations conduites sous l'autorité du préfet, plusieurs hypothèses ont été examinées, dont celle d'une intoxication par l'hydrogène sulfuré (H_2S) provenant d'émanations d'algues en décomposition dans de la vase.

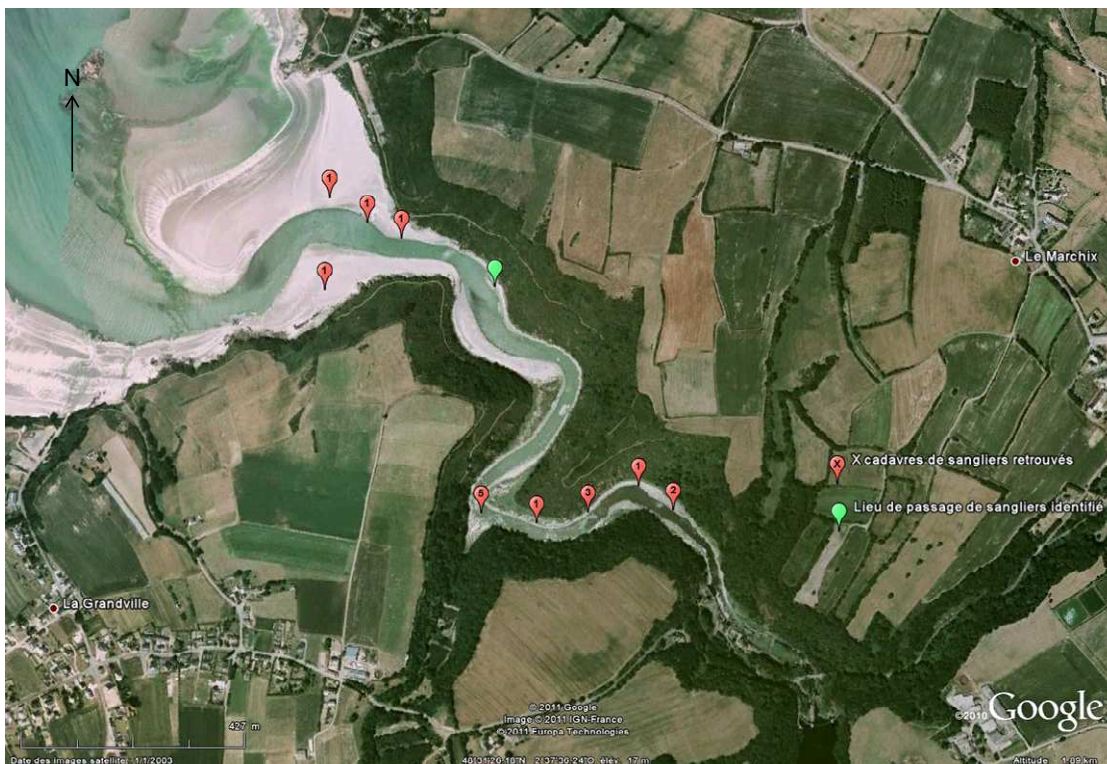


Figure 1 : localisation des lieux où des cadavres de sangliers ont été retrouvés (carte établie à partir de données fournies par l'ONCFS)

L'INERIS a été sollicité par le Ministère de L'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (DGPR) pour apporter un appui scientifique et technique au préfet des Côtes d'Armor pour :

- D'une part contribuer au diagnostic de la cause de mortalité des animaux observée, notamment pour l'interprétation des commémoratifs, des autopsies et des résultats d'analyse existants en s'appuyant sur ses connaissances en toxicologie et en chimie (rapport INERIS-DRC-11-109441-09134A)
- D'autre part procéder à une caractérisation du milieu de la baie de Morieux au regard des émissions d' H_2S , et des niveaux de concentration en H_2S dans l'air ambiant à proximité des zones fréquentées par les populations, afin d'apporter des éléments de réponse sur les risques potentiels pour la population (objet du présent rapport).

Dans ce contexte, l'INERIS est intervenu du 04 au 06 août 2011 sur la plage Saint-Maurice en baie de Morieux et à l'embouchure du Guouessant pour procéder à des mesures de sulfure d'hydrogène (H_2S) en surface immédiate de zones de dépôts d'algues vertes (§ 2) et dans l'air ambiant à proximité des zones fréquentées par les populations (§ 3).

L'installation des matériels de mesure a été réalisée en certains points avec le concours des pompiers (casernes de Saint-Brieuc) car les conditions d'intervention étaient difficiles (accès des points de mesures, zones vaseuses). L'INERIS tient à remercier les pompiers de la caserne de Saint-Brieuc qui ont permis la réalisation de ces essais en assurant la sécurité des intervenants INERIS sur site.

L'INERIS remercie également les agents de l'ONCFS des Côtes d'Armor pour avoir accompagné et guidé les intervenants de l'INERIS au cours de la campagne de mesures.

2. MESURES A LA SOURCE

L'objectif de ces mesures est de permettre une hiérarchisation des concentrations en H₂S à l'interface algues-sédiments/air sur différentes zones d'études, et d'approcher les caractéristiques des gaz potentiellement émis.

Les méthodes de mesure mises en œuvre devaient permettre :

- de donner des résultats indicatifs rapides obtenus sur site (Morieux, 22) afin d'informer les autorités,
- de consolider et compléter ces résultats par des analyses complémentaires réalisées en différé dans les laboratoires de l'INERIS (Oise, 60).

2.1 METHODES MISES EN ŒUVRE

Afin de s'isoler de l'influence des conditions météorologiques (vitesse et direction du vent) une petite chambre métallique de mesures de 50 cm de diamètre et 50 cm de hauteur a été placée en différents points d'échantillonnage.

Cette chambre spécifiquement adaptée à l'étude d'émissions surfaciques est équipée d'un dispositif permettant de percer sur commande la surface (par exemple croûte formée par les algues) et donc de simuler une libération de gaz emprisonné sous la surface étudiée lorsqu'elle est sollicitée (exemple : marcheur sur une plage, affouillement de sol) (Photographie 1).

Les gaz présents dans la chambre sont prélevés à l'aide d'une canne de prélèvement qui échantillonne à environ 5-10 cm de la surface étudiée. Les gaz prélevés sont amenés à l'extérieur de la chambre vers des sacs ou ampoules de piégeage dans lesquels ils sont ensuite analysés. Les débits et/ou les durées de prélèvement ont été adaptés afin de limiter les perturbations sur la source (risque de mise en dépression de la chambre).

Les résultats de mesures obtenus par ce système permettent donc d'approcher les niveaux de concentrations (mg de polluant/m³) des gaz présents en surface immédiate des sédiments étudiés lorsqu'ils sont sollicités mécaniquement. Il n'y a pas de mesure de flux (µg de polluant/h) car le débit (m³/h) d'émission n'est pas déterminé.



Photographie 1 : chambre d'échantillonnage sur les algues vertes en décomposition

Au cours de la campagne de mesures, l'H₂S est le composé qui a été majoritairement recherché. Cependant, les algues vertes en décomposition émettent d'autres composés soufrés réduits qui ont été également recherchés, notamment les mercaptans (CH₃SH, C₂H₅SH), le diméthylsulfure (DMS) et le diméthyldisulfure (DMDS).

Compte tenu des conditions d'interventions (délais, accessibilité des points de mesures) la mesure directe sur site des concentrations d' H₂S par une méthode quantitative n'était pas possible. Aussi l'ensemble des composés soufrés réduits (H₂S, CH₃SH, C₂H₅SH, DMS, DMDS) présents dans l'air a été analysé grâce à un appareil automatique TRS (Total Reduced Sulfur) qui fournit un indice exprimé en ppm (partie par million).

Les analyses à posteriori au laboratoire de l'INERIS réalisées sur des prises d'échantillon communes permettent de déterminer la part d'H₂S dans la somme de ces composés soufrés réduits.

Les techniques de prélèvements et d'analyses associées en sortie de la chambre sont :

- Prélèvement en sac d'échantillonnage⁴ (10 litres) pendant 20 mn avant et après sollicitation mécanique des dépôts d'algues (2 sacs constitués par point de prélèvement) puis mesure sur le même sac de prélèvement :
 - sur site des concentrations des composés soufrés réduits totaux (TRS) à l'aide d'un analyseur automatique (camion laboratoire) et d'un capteur indicatif permettant de détecter la présence d'H₂S et de mercaptans (tubes colorimétriques).
 - en différé en laboratoire (INERIS, 60) pour quantifier l'H₂S et d'autres composés soufrés réduits (CH₃SH, C₂H₅SH, DMS, DMDS) dans les sacs échantillonnés après sollicitation des dépôts d'algues (sauf pour un point où l'impact de la sollicitation a été évalué par une mesure différentielle des concentrations avant/après).
- Prélèvement en ampoule de verre⁵ (0,25 l) pendant quelques secondes immédiatement après sollicitation des dépôts d'algues et analyses en différé en laboratoire pour rechercher spécifiquement l'H₂S.

Les niveaux de concentrations rencontrées ont nécessité de diluer les échantillons avant analyses (mesures sur site et en différé au laboratoire).

En complément à ces mesures, un détecteur multigaz portable a été utilisé (hydrogène sulfuré) par les opérateurs, placé en permanence à la taille. Cette mesure indicative avait d'abord pour objet d'informer les opérateurs sur les conditions d'intervention par rapport au risque aiguë d'intoxication à l'H₂S (sécurité). Néanmoins, les résultats obtenus après une lecture directe et ponctuelle de l'écran de contrôle ont permis de documenter l'ordre de grandeur des concentrations d'H₂S rencontrées. Dans ce cadre, le détecteur a été approché au plus près de certaines zones d'étude. Ces premiers résultats non consolidés ont ainsi permis d'informer les autorités au moment des interventions

Les méthodes de mesures sont détaillées en annexe 2.

⁴ La nature du matériau constituant le sac limite l'adsorption sur ses parois des composés prélevés.

⁵ Préalablement mise sous vide dans les laboratoires de l'INERIS (60).

2.2 POINTS DE MESURES

Cinq points de mesures ont été sélectionnés (Figure 2) en collaboration avec les services de la Préfecture. Ils ont été répartis entre la plage Saint-Maurice et sur les berges du Gouessant afin de documenter les principales zones où des sangliers ont été retrouvés morts (Figure 2) tout en permettant des conditions d'accès au site suffisantes en termes de sécurité. Notamment, la zone où le plus grand nombre de cadavres de sangliers retrouvés n'a pas pu être échantillonné compte-tenu des difficultés d'accès (zone trop vaseuse).

Sur la plage, 2 points de mesures ont été investigués :

- Point A : situé immédiatement à l'entrée de la plage Saint-Maurice soit à 5 mètres en bas de la cale⁶. Les prélèvements ont été réalisés sur une zone (quelques centaines de m²) où les algues peuvent être provisoirement stockées après leur ramassage, avant d'être reprises pour être transportées vers un lieu de traitement. Il semble que sur cette zone, les algues ne peuvent pas être complètement reprises et forment une couche d'épaisseur variable (quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres) et lors de la marée basse, des algues fraîches se déposent.
- Point D : situé à 250 m à l'Ouest de l'entrée sur la plage Saint-Maurice. Les prélèvements ont été réalisés sur une zone d'accumulation d'algues vertes : fraîches en surface et anciennes en dessous. Cette zone d'une surface de 10 m² avait une épaisseur de 15 – 20 cm. Quelques zones de ce type ont été observées sur la plage (de taille de 1 à 15 m²) distantes d'une centaine de mètres les unes des autres.

Lors de l'intervention, les agents INERIS ont constaté que des promeneurs ; pêcheurs à pieds ; cavaliers circulaient sur la plage à proximité de ces zones.

Dans l'estuaire, des emplacements où des sangliers ont été retrouvés morts ont été investigués (3 points de mesures), à marée basse. Les prélèvements ont été réalisés dans le lit du Gouessant, hors des chemins de circulation des promeneurs / randonneurs / chasseurs :

- Point B : zone très vaseuse,
- Point C : zone vaseuse,
- Point E : zone composée d'un mélange de vaseuse et de sable (en surface).

⁶ Descente en béton entre la route et la plage.



Figure 2 : localisation des points de mesures à la source dans la baie de Morieux

L'annexe 1 présente des photographies illustrant les points de mesures.

2.3 RESULTATS

L'ensemble des résultats obtenus est présenté dans le Tableau 1.

Il est à noter que les différentes dilutions rendues nécessaires (sur le terrain et au laboratoire) par les niveaux de concentrations rencontrées, la non concomitance de certains prélèvements (sacs et ampoules) et analyses (terrain et laboratoire) et l'incertitude associée à chaque méthode de mesure expliquent les différences observées sur la mesure d'un même paramètre (H_2S par exemple) par des techniques différentes.

Les analyses réalisées en laboratoire montrent que les concentrations en composés soufrés réduits mesurées avec l'analyseur TRS sont constituées majoritairement d' H_2S (entre 73 et 98 %).

Les mesures mettent en évidence l'effet d'une sollicitation mécanique des dépôts d'algues qui déclenche immédiatement des dégagements importants de composés soufrés (H_2S principalement). Ainsi, sur le point D situé sur la plage, 13 fois plus d' H_2S a été mesuré après sollicitation.

Les concentrations en H_2S se sont avérées 1000 fois plus élevées en surface des dépôts d'algues (après sollicitation) sur la plage (points A et D) qu'aux points situés dans l'estuaire (B, C et E).

Selon son expérience sur des sites industriels (stations de traitements des eaux usées, par exemple) ou dans des ambiances particulières (égouts, ouvrages souterrains), l'INERIS ne rencontre que rarement des concentrations en H_2S supérieures à 1000 mg/m^3 et plutôt dans des milieux confinés.

Le même ordre de grandeur a été retrouvé lors de la campagne INERIS réalisée en 2009 sur la plage de Saint-Michel en Grève (22)⁷ avec des chambres de même type mais sans sollicitation mécanique des tas d'algues.

En 2010, l'INERIS lors d'une campagne de mesures réalisées sur la plateforme de compostage de Launay-Lantic (22)⁸ a mesuré sur des algues vertes en décomposition, des concentrations en H_2S allant jusqu'à 120 mg/m^3 . Les mesures avaient été réalisées avec la même chambre (sollicitation mécanique des algues vertes) mais en procédant avec un balayage de la chambre avec de l'air (dilution de l'air analysé).

⁷ INERIS, rapport d'étude DRC-09-108407-10226A « Résultats de mesures ponctuelles des émissions d'hydrogène sulfuré et autres composés gazeux potentiellement toxiques issues de la fermentation d'algues vertes (ulves) – Mesures réalisées le 13 août 2009 à Saint-Michel-en-Grève » du 19/08/2009.

⁸ INERIS, rapport d'étude DRC-10-115319-11988B « Evaluation des émissions gazeuses des algues vertes en décomposition » du 18/04/2011.

Le Tableau 1 présente l'ensemble des résultats des mesures réalisées à la source sur les points échantillonnés.

Type de mesure	Point de mesures	A (plage)		B (estuaire)		C (estuaire)		D (plage)		E (estuaire)	
Date et heure de prélèvement		05/08/11 14h45 à 15h30		05/08/11 16h45 à 17h20		05/08/11 18h10 à 19h00		06/08/11 7h25 à 8h15		06/08/11 8h35 à 9h25	
Détecteur multigaz (mesures indicatives)	H ₂ S (mg/m ³)	Valeur indiquée : 88 (appareil en alarme*)		Valeur indiquée : 32 ^P (appareil en alarme*)		0 ^P		Saturé (> 140) (appareil en alarme*)		Valeur indiquée : 14 (appareil en alarme*)	
Condition lors du prélèvement		avant perçage de la surface	après perçage de la surface	avant perçage de la surface	après perçage de la surface	avant perçage de la surface	après perçage de la surface	avant perçage de la surface	après perçage de la surface	avant perçage de la surface	après perçage de la surface
Tubes colorimétriques (mesures indicatives)	H ₂ S (mg/m ³)	Saturé (>7)	Saturé (>7)	Saturé (>7) ^P	Saturé (>7) ^P	nd ^P	< 0,3 ^P	Saturé (>7)	Saturé (>7)	Saturé (>7)	Saturé (>7)
	Mercaptans (ppm)	Saturé (>15)	Saturé (>15)	nd ^P	nd ^P	nd ^P	nd ^P	Saturé (>15)	Saturé (>15)	nd	< 1
Prélèvement en sac	Analyse des TRS in-situ (mg/m ³ d'équivalent H ₂ S)	105	4686	7,8 ^P	15,6 ^P	0,3 ^P	0,6 ^P	138	1221	9,9	61
	Analyses en laboratoire (mg/m ³)										
	H ₂ S	#	3 862	#	< 14 ^P	#	#	108	1 448	#	85
	CH ₃ SH	#	50	#	< 0,4 ^P	#	#	19	59	#	< 0,4
	C ₂ H ₅ SH	#	0,5	#	< 0,5 ^P	#	#	< 0,5	< 0,5	#	< 0,5
	DMS	#	39	#	0,5 ^P	#	#	20	64	#	0,8
DMDS	#	1,6	#	< 0,8 ^P	#	#	0,8	2,7	#	< 0,8	
Prélèvement en ampoule	Analyse H ₂ S en laboratoire (mg/m ³)	#	6 960	#	7 ^P	#	< 5,7 ^P	#	1 420	#	< 5,7

: non réalisé - nd : non détecté - * Alarme Seuil 1 = 14 mg/m³, Alarme Seuil 2 = 28 mg/m³ – ^P prélèvement réalisé par les pompiers

Tableau 1 : résultats des mesures réalisées à la source (valeurs représentatives d'émission de type « bouffées »)

La Figure 3 présente les concentrations en H₂S mesurées aux cinq points de mesures.



Figure 3 : concentrations en H₂S mesurées à la source dans la baie de Morieux

2.4 OBSERVATIONS DE TERRAIN RELEVÉES

Lors de l'installation du matériel de mesures dans l'environnement le 04 août 2011, les détecteurs de sécurité (détecteurs multigaz) des intervenants INERIS se sont mis en alarme lors de leur passage au niveau de l'entrée de la plage Saint-Maurice (point A retenu alors pour les mesures à la source). Les intervenants INERIS ont relevé des concentrations de l'ordre de 14 mg/m³ (détecteur à la taille) à 63 mg/m³ (détecteur placé dans une trace de pas) à cet endroit.

Le long de l'estuaire, lors du passage dans des endroits vaseux, des mesures à l'aide du détecteur multigaz ont révélé des concentrations comprises entre 3 et 13 mg/m³ au niveau des traces de pas laissées dans la vase.

2.5 INTERPRÉTATION DES RESULTATS DE MESURES REALISEES A LA SOURCE EN TERMES SANITAIRES

2.5.1 INTRODUCTION A LA TOXICITE DU H₂S

Les mesures réalisées sur le site de la baie de Morieux, lors de cette campagne de mesures, ont été limitées dans l'espace et dans le temps et ne peuvent pas être généralisées, même si certains résultats corroborent ceux obtenus antérieurement sur des sites similaires.

Au regard de l'ensemble des composés mesurés lors de cette campagne de mesures, seul le sulfure d'hydrogène fait l'objet d'une interprétation sanitaire, aucune donnée

toxicologique utilisable et appropriée n'étant disponible pour les autres composés soufrés réduits.

Le sulfure d'hydrogène (H₂S) est un gaz très toxique, un peu plus lourd que l'air, ce qui explique le risque aggravé en milieu confiné. En atmosphère libre comme sur un littoral, on considère que le sulfure d'hydrogène se comporte comme l'air et cette propriété n'aggrave donc pas l'exposition.

Son odeur caractéristique d'œuf pourri se détecte dès 0,2 à 0,3 ppm (0,28 à 0,42 mg/m³) ; elle est nette pour 20 à 30 ppm (28 à 42 mg/m³), mais vers 100 ppm (140 mg/m³) l'odorat est anesthésié.

C'est un irritant des voies respiratoires et un neurotoxique par asphyxie.

Pour plus de détails sur la toxicité du H₂S, la fiche de données toxicologiques peut être consultée sur le portail substances chimiques de l'INERIS⁹.

Le tableau ci-dessous présente les différentes valeurs toxicologiques de référence (VTR) du H₂S répertoriées en l'état actuel des connaissances (fiche INERIS).

Exposition aiguë	Exposition subchronique	Exposition chronique
REL_A = 42 µg.m⁻³ (1 heure) Perception olfactive chez des volontaires, survenue de céphalées et de nausées (CARB, 1984 ; Reynolds and Kamper, 1985, Amoore, 1985) <i>OEHHA (2008)</i>	MRL_I = 30 µg.m⁻³ (14–365 j) Perte de neurones olfactifs et hyperplasie régénérative de cellules basales chez le rat (Brenneman <i>et al.</i> , 2000) <i>ATSDR (2006)</i>	RfC = 2 µg.m⁻³ Perte de neurones olfactifs et hyperplasie régénérative de cellules basales chez le rat (Brenneman <i>et al.</i> , 2000) <i>US EPA (2003)</i>
MRL_A = 100 µg.m⁻³ (30 minutes) Obstruction bronchique chez des volontaires asthmatiques (Jäppinen <i>et al.</i> , 1990) <i>ASTDR (2006)</i>		REL_C = 10 µg.m⁻³ Inflammation de la muqueuse nasale chez la souris (CIIT, 1983) <i>OEHHA (2000)</i>

2.5.2 L'EXPOSITION EN SITUATION ACCIDENTELLE ET/OU DE TRES COURTE DUREE

2.5.2.1 CAS D'UNE SITUATION ASSIMILEE A UN CONTEXTE ACCIDENTEL

L'exposition aux émissions issues d'algues vertes en putréfaction mérite d'être examinée au regard des résultats obtenus lors de la présente intervention sur le site de la baie de Morieux.

Des situations potentiellement problématiques pour les populations locales peuvent, en effet, être identifiées, notamment du fait du perçage d'un encroutement formé ou d'une chute dans un encroutement ou une vasière :

- a. pour des **promeneurs sur la plage** (points A et D) ;

⁹ INERIS, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Sulfure d'Hydrogène, mai 2009 ; disponible sur <http://www.ineris.fr/substances/fr/>

- b. au point de **l'estuaire** le plus accessible (embouchure), sur lequel ou à proximité duquel des sangliers ont été retrouvés morts (point E), et qui est décrit comme étant un lieu de passage ponctuel de **chasseurs** ; c'est aussi celui qui présente les concentrations à la source les plus importantes de l'estuaire (point E > point C > point B).

L'exposition est dans ce cas plutôt de type instantané et accidentel, et ne relève pas d'une démarche classique d'évaluation des risques sanitaires, car se sont les seuils des effets létaux, irréversibles ou réversibles, développés dans le cadre d'émissions accidentelles qui sont utilisés (Fiche INERIS, 2008, sur le portail des substances chimiques)¹⁰.

Hypothèse considérée : l'individu est exposé à la concentration mesurée à la source, sous forme de bouffée, sans effet de dilution ni de dispersion. Ainsi, la concentration dans la chambre est assimilée à la concentration au niveau des voies respiratoires. Elle est aussi proche de celle respirée par un individu qui chute ou glisse dans un dépôt.

Données utilisées pour caractériser l'exposition instantanée :

- Pour la plage, les données de mesure aux points A et D réalisées immédiatement au-dessus d'algues en décomposition et/ou de vasières, après perçage de la surface ;
- Pour l'estuaire, la donnée de mesure au point E réalisée immédiatement au-dessus d'algues en décomposition et/ou de vasières, après perçage de la surface.

Tableau 2 : concentrations issues du tableau 1 retenues pour caractériser une exposition instantanée (H₂S)

Concentrations retenues	Source
[1448 – 3862] mg/m ³	Concentrations mesurées <i>in situ</i> sur sédiments en mélange avec des algues putréfiées, après perçage de la surface (Points A et D, Plage de Morieux)
85 mg/ m ³	Concentration mesurée <i>in situ</i> sur sédiments en mélange avec des algues putréfiées, après perçage de la surface (Point E, embouchure de l'estuaire)

Les mesures réalisées à l'émission étant représentatives d'une bouffée instantanée, ce sont les seuils d'effet toxiques proposés pour le temps les plus courts (1 minute) qui sont regardés :

- Seuil des effets létaux significatifs (SELS) : 2408 mg/m³ ;
- Seuil des effets irréversibles (SEI) : 448 mg/m³

Les concentrations retrouvées sur la plage peuvent être supérieures au seuil des effets létaux significatifs (susceptible de provoquer la mort). Elles sont au minimum supérieures au seuil des effets irréversibles.

Les concentrations retrouvées dans l'estuaire restent inférieures au seuil d'effet irréversible.

¹⁰ INERIS, Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de toxicité aigue – DRC-08-94398-10646A ; disponible sur <http://www.ineris.fr/substances/fr/>

Il faut toutefois considérer cette interprétation basée sur de la mesure instantanée en regard de la réalité des expositions humaines possibles. Une chute ou un perçage de croûte ne peuvent pas être totalement écartés (cavalier tombant d'un cheval, enfant jouant dans le sable...), mais la probabilité qu'un accident survienne sur les points les plus émissifs et que la personne reste immobilisée suffisamment longtemps pour atteindre les seuils d'effet létaux est limitée.

Cette hypothèse est également cohérente avec la mortalité des sangliers observée dans la baie.

2.5.2.2 CAS D'UNE SITUATION ASSIMILEE A UNE EXPOSITION DE COURTE DUREE

Les résultats obtenus à la source peuvent également être interprétés au regard d'expositions de courte durée « non accidentelles », à partir d'une approche classique d'évaluation des risques.

Ce scénario peut également concerner la population générale dans le cadre d'une promenade sur la plage ou dans l'estuaire (en particulier à son embouchure, y compris activités de chasse etc.). Il peut s'agir soit d'un perçage de croûte ou de sollicitation d'une surface sous laquelle des algues en putréfaction ont pu s'accumuler (vasière). Les situations d'exposition a) et b) décrites plus haut restent valables.

Hypothèse considérée : l'individu est exposé à la concentration indiquée en direct par les opérateurs avec le détecteur multigaz, placé à la taille. Elle est indicatrice de la concentration respirée par un individu qui sollicite une surface contenant des algues en putréfaction et est considérée comme la plus représentative d'expositions de courtes durées de promeneurs qui se déplacent.

Données utilisées pour quantifier l'exposition :

- Pour la plage, les données de mesure indicatives aux points A et D réalisées en direct par les opérateurs avec le détecteur multigaz (après sollicitation de la surface d'algues) ;
- Pour l'estuaire, la donnée de mesure au point E réalisée en direct par les opérateurs INERIS avec le détecteur multigaz (après sollicitation de la surface d'algues).

Tableau 3 : concentrations d'exposition retenues (H₂S)

Concentration d'exposition retenue	Source
[88-200] mg/m ³	Concentrations réalisées en direct par les opérateurs avec le détecteur multigaz (après sollicitation de la surface d'algues aux points A et D)
14 mg/ m ³	Concentration réalisées en direct par les opérateurs avec le détecteur multigaz (après sollicitation de la surface d'algues au point E)

Il convient de rappeler ici que les mesures et donc les concentrations d'exposition retenues sont purement indicatives. Ainsi, au point D, le détecteur a saturé avec une valeur > 140 mg/m³. L'hypothèse par défaut est de considérer que les concentrations ont pu atteindre 200 mg/m³. Enfin, la mesure au point B de l'estuaire n'est pas considérée (zone très peu accessible, mesure réalisée par les pompiers).

Données utilisées pour caractériser les dangers liés à des expositions de courtes durées :

La valeur de l'OEHHA (VTR aiguë de 0,042 mg/m³ pour une heure d'exposition) correspondant à la valeur la plus basse des VTR aiguës disponibles, a été retenue. C'est, également, cette VTR qui a été retenue dans le cadre des travaux de l'ANSES de mai 2011, auxquels l'INERIS a contribué.

Caractérisation des risques et interprétation :

Le quotient de danger (QD) est le résultat quantitatif de la caractérisation des risques. C'est le rapport entre la dose d'exposition d'un individu ou d'un groupe d'individus et la dose sans effet estimée (VTR). Si la valeur du QD dépasse la valeur de 1, des effets sont susceptibles de se produire. Le QD est employé pour les effets à seuil de dose.

Tableau 4 : Quotient de danger (QD) suite au perçage d'une croûte/surface d'un tas d'algues vertes en décomposition/vasière – d'après mesures d'émission in situ

Concentration d'exposition (mg/m ³)	VTR aiguë (mg/m ³)	Effet	QD (arrondi)
88-200	0,042	Perception olfactive	2000 - 4700
14			330

Les quotients de danger obtenus sont conséquents. Les valeurs obtenues se situent à des niveaux pour lesquels des effets ont été observés sur l'Homme, notamment une anesthésie de l'odorat. Il convient de rappeler que la mesure par détecteur n'est qu'indicative, et qu'elle représente une sollicitation instantanée de la surface assimilée à une durée d'exposition d'une heure (un promeneur peut marcher 1 heure sur la plage et déclencher plusieurs bouffées mais, en général, il ne piétine pas 1 heure au même endroit et la bouffée ne reste pas constante)

Il convient de noter que pour ces durées d'exposition (30 mn), le seuil d'effets irréversibles se situe également au niveau de 140 mg/m³¹¹

Dans tous les cas, les caractéristiques olfactives de l'H₂S représentent un facteur d'alerte pour le promeneur qui s'éloigne, le plus souvent, des zones à risques.

¹¹ INERIS, Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de toxicité aigue – DRC-08-94398-10646A ; disponible sur <http://www.ineris.fr/substances/fr/>

3. MESURES DANS L'ENVIRONNEMENT

3.1 METHODE DE MESURES

Afin d'évaluer les concentrations en H₂S auxquelles les populations riveraines de la plage de Morieux peuvent être exposées, l'INERIS a installé des systèmes de prélèvement (tubes de diffusion) permettant d'intégrer les niveaux de concentrations dans l'air sur une semaine entre le 04 au 11 août 2011 et d'obtenir une concentration moyenne d'exposition sur cette période. Un descriptif de cette méthode est présenté en annexe 3.

Les emplacements choisis ont été retenus :

- En fonction des lieux où des sangliers ont été retrouvés qui peuvent être également pour certains des lieux de passage (ponctuels) de chasseurs,
- De manière à couvrir les habitations les plus proches de l'estuaire et de la plage.

Ainsi, sept emplacements ont été définis en bord de plage et dans l'estuaire (Figure 4). Un huitième emplacement a été retenu afin d'obtenir le bruit de fond de la zone d'étude.

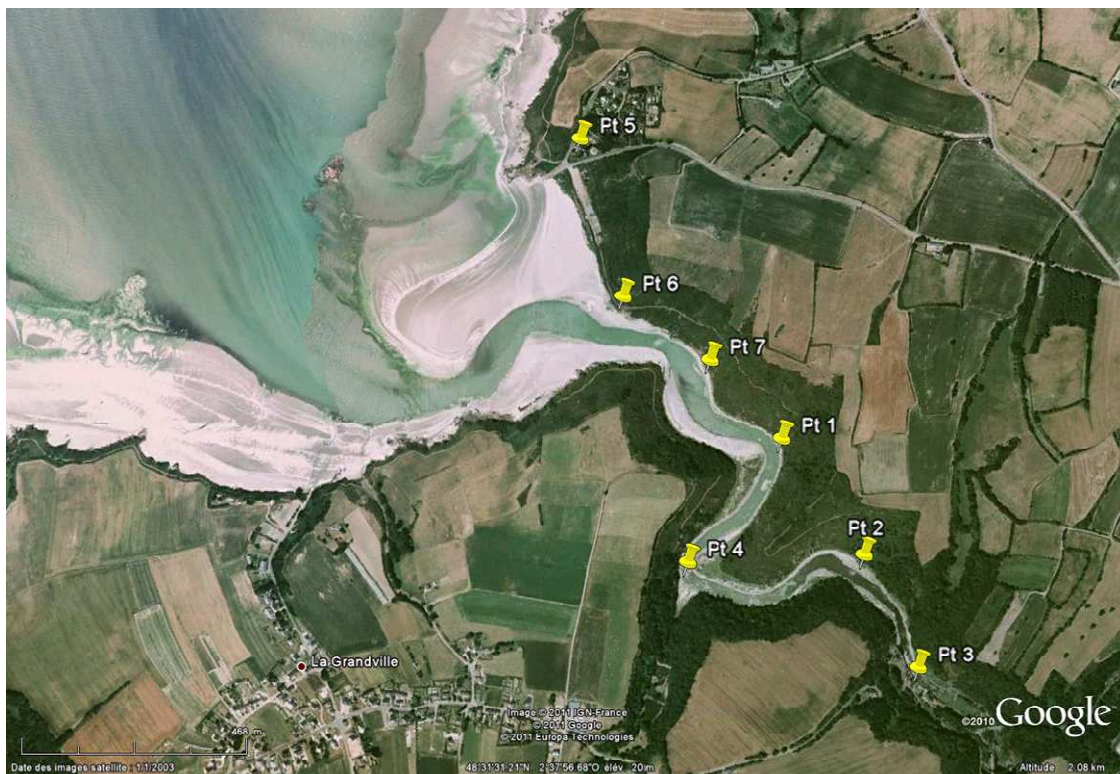


Figure 4 : localisation des emplacements de mesures en air ambiant

Les emplacements n°3 et n°5 correspondent à des lieux d'habitations. Les systèmes de prélèvement ont été installés dans les jardins, à 10 mètres environ des habitations :

- L'emplacement n°3 a été placé au lieu-dit « Le Pont Rolland »,
- L'emplacement n°5 a été placé au niveau de la plage Saint-Maurice. Il est situé à environ 100 mètres du point de mesure A effectué à la source sur la plage.

Les emplacements n°1, n°2, n°4, n°6 et n°7 sont situés dans l'estuaire aux endroits où des sangliers ont été retrouvés morts (n°2, n°4 et n°6) ou à des endroits où des sangliers circulent (n°1 et n°7). Ils ont été placés hors des chemins de randonnées ou de passage. L'emplacement n°6 est néanmoins situé à moins de 10 mètres du GR34. Au niveau des emplacements n°1, n°2, n°4 et n°7, des chasseurs sont susceptibles de circuler.

L'emplacement correspondant au bruit de fond a été positionné dans une prairie située à 1 000 mètres environ au Sud-Sud-Ouest de l'estuaire.

Parallèlement Air Breizh a installé au point n°3 (lieu-dit « Le Pont Rolland ») un analyseur en continu d'H₂S du 04 au 11 août 2011 dans l'air ambiant.

Afin de suivre en continu les conditions météorologiques locales tout au long de la campagne de mesure, l'INERIS a également installé une station météorologique (mesures de la force et de la direction des vents à 10 m de haut) sur cette même période. Elle a été positionnée au niveau de l'emplacement n°3.

3.2 RESULTATS

Pendant cette campagne de mesure, les vents ont été de secteur Nord-Ouest avec majoritairement (70,7 %) une intensité très faible (< 5 km/h) à vents faibles à modérés (5 à 29 km/h). Compte tenu du positionnement du mât météo, ces conditions faiblement dispersives, avec une direction du vent qui suit le lit de l'estuaire, correspondent uniquement à la situation locale à proximité immédiate de l'emplacement n°3 pendant la campagne d'investigations.

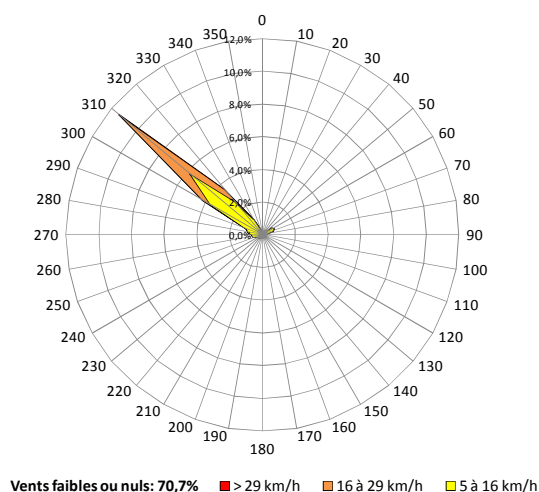


Figure 5 : rose des vents de la période suivie

L'ensemble des données météorologiques collectées lors de la campagne de mesure ainsi que les analyses associées sont présentées en annexe 4.

Concernant les mesures réalisées avec les tubes passifs, l'ensemble des analyses conduisent à des concentrations significatives par rapport à la limite de détection (LD < 0,4 µg, le blanc de site étant également inférieur). On peut donc estimer que les concentrations mesurées sont majoritairement dues à des sources externes aux systèmes de prélèvement.

Les concentrations en H₂S mesurées à l'aide des tubes passifs sont reportées ci-dessous (Tableau 5 et Figure 6).

Tableau 5 : concentrations d'H₂S mesurées

	H ₂ S
Emplacement	µg / m ³
1	138,8
2	172,8
3	17,9
4	209,1
5	16,0
6	54,2
7	72,4
Bruit de fond	2,9



Figure 6 : concentrations d'H₂S mesurées sur la zone d'étude

Les concentrations les plus élevées (entre 139 et 210 µg/m³) ont été mesurées dans l'estuaire aux emplacements n°1, n°2 et n°4.

En sortie de l'estuaire, aux emplacements n°6 et n°7, les concentrations diminuent (54 et 72 µg/m³).

Les concentrations mesurées aux emplacements n°3 (habitation au lieu-dit « Le Pont Rolland ») et n°5 (habitation plage Saint-Maurice) sont respectivement de 18 et 16 µg/m³ et correspondent à des concentrations supérieures au seuil olfactif de l'H₂S (entre 0,7 et 14 µg/m³)¹².

¹² INERIS, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Sulfure d'hydrogène, version n°2, mai 2009

Comparées à la concentration obtenue à l'emplacement témoin de la zone d'étude ($2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), les concentrations moyennes sur l'ensemble de la période étudiée sont, en chacun des emplacements, de l'ordre de 5 à 75 fois supérieures au bruit de fond local.

Au niveau de l'emplacement témoin de la zone d'étude (n°8), la concentration mesurée ($2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est supérieure à ce qui est généralement observé dans l'air ambiant ($0,15$ à $0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

En 2010, l'INERIS¹³ a réalisé une synthèse des caractéristiques de l' H_2S et des concentrations en H_2S susceptibles d'être mesurées dans différentes situations.

On peut noter, à titre de comparaison, qu'à Hillion (plage de Grandville) une concentration moyenne de $42,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été mesurée du 03 juillet au 10 septembre 2008. A Saint-Michel-en-Grèves, les campagnes de mesures menées en 2005 et 2006 ont relevé des concentrations moyennes de $19,8$ et $33,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En milieu industriel, l'INERIS a mesuré dans l'environnement d'une plateforme de compostage de déchets des concentrations en H_2S comprises entre 4 et $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à 100 m du site.

Concernant la campagne de mesures menée par Air Breizh du 04 au 11 août 2011 au lieu-dit « Le Pont Rolland » (emplacement n°3), la concentration moyenne obtenue est de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette concentration est identique à celle mesurée par l'INERIS en cet emplacement (Tableau 2 et Figure 6).

Les mesures en continu réalisés par Air Breizh à l'emplacement n°3 (lieu-dit « Le Pont Rolland) montrent une bonne corrélation avec le phénomène des marées. Les pics de concentration en H_2S correspondent à des périodes de basse mer et les concentrations proches de la limite de quantification correspondent à des périodes de marée haute (Figure 7).

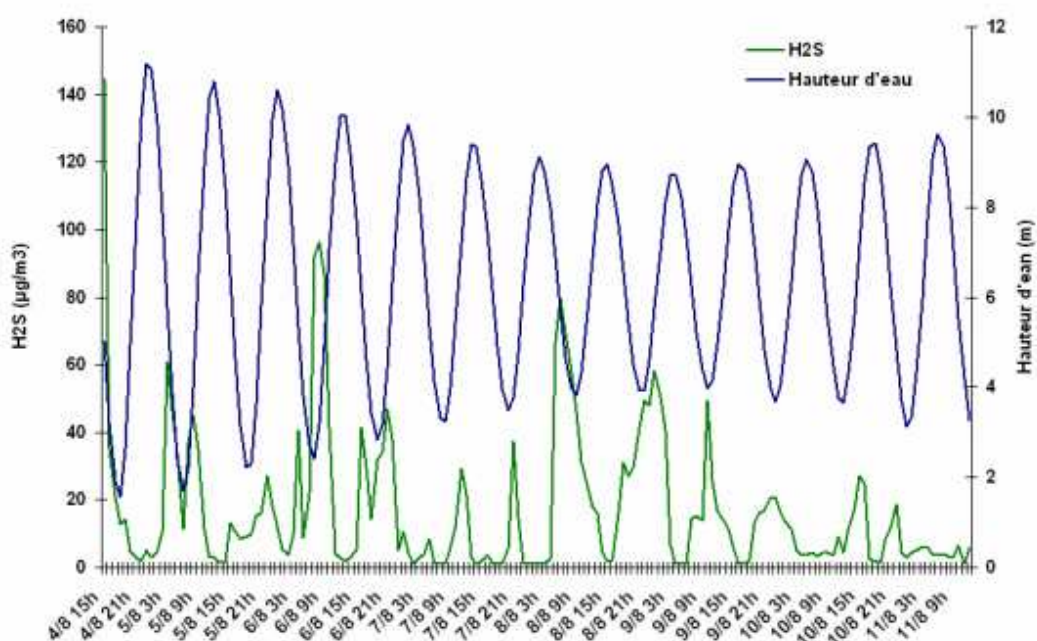


Figure 7 : relation entre les concentrations en H_2S et les marées sur Morieux (graphe issu d'Air Breizh)

¹³ INERIS, rapport d'étude DRC-10-113094-05297A « ALGUES VERTES – Description des phénomènes et procédés et enjeux de maîtrise des risques » du 11/06/2010.

3.3 INTERPRETATION DES RESULTATS DE MESURES DANS L'AIR AMBIANT EN TERMES SANITAIRES

On rappelle que l'annexe 5 résume les données sur la toxicité du H₂S ainsi que les VTR disponibles, tant pour des durées d'exposition aiguë (de quelques heures à quelques jours) que sub-chronique (de quelques semaines à quelques mois) ou chronique (au moins une année). Les données utilisées sont rappelées ci-après, pour chaque scénario.

De même que pour les résultats de mesures à la source, plusieurs situations d'exposition potentiellement problématiques liées à la qualité de l'air ambiant, pour les populations locales, sont identifiées plus particulièrement :

1. L'exposition aux **niveaux ambiants** induits par le phénomène des marées vertes :
 - a. des **riverains de la plage et/ou de vacanciers** (point 5) ;
 - b. des **riverains de l'estuaire et/ou de vacanciers** (point 3) ;
2. L'exposition de **chasseurs et/ou de randonneurs** aux **niveaux ambiants** mesurés à l'embouchure de **l'estuaire** (point 6), à proximité duquel des sangliers ont été retrouvés morts et situé à une quinzaine de mètres du GR34.

Remarque concernant le scénario 2 : les points 7, 1, 4 et 2 de mesures d'H₂S dans l'environnement sont très peu accessibles pour l'Homme. L'exposition semble donc peu probable. Toutefois, les résultats de mesure sur ces emplacements (et en particulier le maximum observé au point 4), plus importants qu'au point 6, pourront être mis en perspective dans la discussion. D'autant qu'ils sont situés dans la zone de l'estuaire où le plus grand nombre de sangliers a été retrouvé morts, ce qui ne veut toutefois pas dire qu'il s'agisse de la zone où ils ont été exposés (phénomène des marées).

3.3.1 EXPOSITION SUB-CHRONIQUE DE LA POPULATION GENERALE, RIVERAINE DE LA PLAGE OU DE L'ESTUAIRE

Le scénario sub-chronique concerne les résidents installés à proximité de la plage ou de l'estuaire et couvre les usagers habituels du littoral (plagistes, pêcheurs...).

Hypothèse considérée : les populations riveraines sont continuellement exposées aux concentrations ambiantes mesurées au niveau des premières habitations de la plage, ce qui en termes de scénario d'exposition se traduit par une concentration dans tous les lieux de vie fréquentés identiques. On considèrera par ailleurs que la saison d'échouage des algues s'étend principalement de juin à septembre (la saison d'exposition potentielle dure donc 4 mois, c'est aussi l'hypothèse retenue par l'ANSES).

Remarque : Un scénario d'exposition chronique paraît peu pertinent, même si certains résidents sont présents en permanence sur la zone. D'une part, ils sont exposés uniquement pendant les 4 mois de saison (le reste de l'année, l'exposition peut être assimilée à un niveau de bruit de fond) et, d'autre part, les effets sont réversibles, dans le cas d'interruption de l'exposition.

Données utilisées pour quantifier l'exposition sub-chronique :

- Pour la plage, la donnée de mesure dans l'environnement au point 5, proche des premières habitations. Concentration moyenne intégrée sur 7 jours ;
- Pour l'estuaire, la donnée de mesure dans l'environnement au point 3, correspondant à un lieu d'habitation. Concentration moyenne intégrée sur 7 jours ;

Remarque : le vent joue un rôle très important dans la dispersion du H₂S. Pendant la campagne, les conditions locales à proximité des points de mesures étaient faiblement dispersives (donc majorantes en termes d'exposition des populations proches des sources), l'orientation des vents est dans l'axe de l'estuaire.

A partir des données de concentration dans l'environnement, les expositions sub-chroniques sont calculées selon l'équation suivante :

$$CI = \left(\sum_i C_i \times t_i \right) \times F \times \frac{DE}{TP} \quad (\text{Équation 1})$$

CI : concentration inhalée (ou concentration d'exposition) (µg/m³)

C_i : concentration dans le milieu i (µg/m³)

t_i : fraction du temps quotidien passé dans le milieu i (sans unité)

F : fréquence annuelle d'exposition (sans unité)

DE : durée d'exposition (années)

TP : durée de la vie entière (années)

Comme expliqué précédemment, $\sum_i C_i \times t_i$ est assimilé à la concentration moyenne mesurée aux points situés à proximité des habitations.

La fréquence annuelle d'exposition (F) est calculée à partir de la durée de la saison d'échouage des algues, qui s'étend de juin à septembre (4 mois). Pour le calcul de l'exposition sub-chronique, F = 1 (population présente toute la saison).

H₂S étant un polluant à effet à seuil, $\frac{DE}{TP} = 1$ conventionnellement pour l'exposition chronique. Pour l'exposition sub-chronique, on conserve également l'hypothèse qu'elle a lieu tous les ans pendant la durée de vie entière.

Tableau 6 : Concentrations d'exposition sub-chronique– Riverains pendant la saison (H₂S)

	$\sum_i C_i \times t_i$	F (sub-chronique)	CI subchronique (µg/m ³)
Riverains du bord de plage (permanents et vacanciers) : point 5	16 µg/m ³	1	16
Riverains proches de l'estuaire (permanents et vacanciers) : point 3	18 µg/m ³		18

Données utilisées pour caractériser les dangers liés à des expositions sub-chroniques :

La VTR construite par l'ATSDR (cf. annexe 5), identifiée pour une durée d'exposition par inhalation sub-chronique (ou intermédiaire) a été retenue par l'ANSES dans son expertise de mai 2011 (30 µg/m³, fiche de données toxicologiques de l'INERIS). Elle s'applique pour une durée d'exposition comprise entre 15 et 365 jours, fondée sur des données

animales (étude de 10 semaines). L'effet critique retenu (perte de neurones olfactifs et hyperplasie régénérative) met en évidence la double toxicité du sulfure d'hydrogène (neurotoxicité, irritation et toxicité cellulaire).

Caractérisation des risques et interprétation :

Le fait de résider à proximité de la plage ou de l'estuaire toute la saison, tenant compte des hypothèses retenues, ne semble pas présenter de risque préoccupant pour la santé des populations concernées. Toutefois, la poursuite du ramassage des algues, suivant les recommandations préalables de l'INERIS et de l'ANSES, dans les zones accessibles, limitera les émissions et donc les concentrations dans l'air ainsi que les expositions potentielles.

Tableau 7 : Quotients de danger (QD) pour les risques sub-chroniques pour la population riveraine

	Concentration d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VTR subchronique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QD
Riverains du bord de plage	16	30	0,5
Riverains proches de l'estuaire	18		0,6

3.3.2 EXPOSITION SUB-CHRONIQUE POUR LA POPULATION GENERALE, AYANT DES ACTIVITES DANS L'ESTUAIRE

Hypothèse : le scénario sub-chronique concerne les chasseurs et randonneurs occasionnels dans les zones accessibles de l'estuaire. Les hypothèses d'exposition sont les mêmes que pour les résidents du scénario 2, à l'exception de la fréquence d'exposition qui est divisée par deux (tenant compte du fait que l'estuaire n'est accessible qu'à marée basse, donc au maximum 2 mois sur les 4 mois de la saison).

Données utilisées pour quantifier l'exposition :

La donnée de mesure dans l'environnement dans ce cas est estimée à environ $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figure 7)

L'équation 1 précédente est utilisée, ainsi que les hypothèses du scénario d'exposition sub-chronique pour les riverains saisonniers. Une fréquence annuelle de 0,5 (2 mois sur 4) est retenue.

Tableau 8 : Concentration d'exposition subchronique estimée – Chasseurs/Randonneurs dans l'estuaire (H_2S)

	$\sum_i C_i \times t_i$	F (sub-chronique)	CI subchronique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Chasseurs/Randonneurs dans l'estuaire : point 6	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,5	20

Données utilisées pour caractériser les dangers :

Il s'agit de la même VTR que pour le scénario riverain précédent.

Caractérisation des risques et interprétation :

Le QD est similaire à celui trouvé pour les riverains de l'estuaire. Un résident qui aurait de surcroît des activités de type chasse ou randonnée dans l'estuaire pendant la saison s'avère se trouver dans une situation semblable.

Tableau 9 : Quotient de danger pour les risques sub-chroniques pour la population générale (chasseurs et randonneurs)

	Concentration d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VTR subchronique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QD
Chasseurs/ Randonneurs dans l'estuaire	27	30	0,9

Par ailleurs, dans les zones les moins accessibles de l'estuaire, le QD pourrait être de 3 (point 4). La possibilité de pénétrer dans ces zones déjà peu accessibles, et dangereuses par ailleurs (escarpées, vasières dangereuses même en dehors de tout dégagement d' H_2S), devrait être limitée au maximum. En particulier, sur le GR34 bien balisé mais parfois proche de certaines zones où des prélèvements ont eu lieu, devraient être installés des panneaux indiquant de ne pas quitter le chemin.

4. CONCLUSION

L'intervention de l'INERIS du 04 au 06 août 2011 sur la plage de Saint-Maurice en baie de Morieux et à l'embouchure du Gouessant a permis :

- de caractériser les gaz potentiellement émis sur diverses zones de la baie, à savoir des zones de dépôts d'algues vertes sur la plage Saint-Maurice, et différents points le long de l'estuaire,
- d'évaluer dans l'air ambiant de la baie les niveaux de concentrations en H₂S auxquelles les populations riveraines peuvent être exposées.

Il convient de retenir que les mesures réalisées lors de cette campagne d'analyses ont été limitées dans l'espace et dans le temps et ne peuvent pas être généralisées, même si certains résultats corroborent ceux obtenus antérieurement sur des sites similaires.

En conclusion, les points majeurs suivants peuvent être relevés :

- Les mesures à la source réalisées par sollicitation mécanique des dépôts d'algues déclenchent immédiatement des dégagements importants principalement composés de H₂S (entre 73 et 98 % des composés soufrés réduits) ;
- Les concentrations retrouvées à la source, sur la plage de Morieux, sont très élevées au regard du retour d'expérience de l'INERIS ;
- Elles peuvent dépasser les seuils létaux, elles sont représentatives d'une exposition à une bouffée instantanée très près de la source, qui pourrait conduire à un accident mortel dans un scénario extrême de chute et de perçage de la croûte de surface qui ne peut pas être écarté. Ce scénario est cohérent avec la mortalité observée de sangliers. Cependant, ces modalités d'exposition extrêmes, de très courtes durées mais intenses restent peu probables pour l'Homme, en raison du caractère olfactif de l'H₂S qui représente un facteur d'alerte pour le promeneur. On peut considérer que celui-ci s'éloigne, le plus souvent, de ces zones malodorantes.
- Les mesures de H₂S dans l'air ambiant sont, au niveau de la plage et de l'estuaire, supérieures au bruit de fond local, lui-même relativement élevé au regard des valeurs habituellement documentées ;
- Sous réserve de la poursuite du ramassage des algues dans les lieux accessibles, et de l'interdiction de l'accès aux zones peu accessibles (dangereuses par ailleurs dans l'estuaire), les risques pour les populations ne semblent pas préoccupants, si ce n'est en termes de nuisances olfactives.

5. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Photographies des points de mesures à la source	2 A4
Annexe 2	Méthodes de mesures mises en œuvre	1 A4
Annexe 3	Système de prélèvement par tubes de diffusion	1 A4
Annexe 4	Conditions météorologiques relevées au cours de la campagne de mesures dans l'environnement	3 A4

ANNEXE 1

Photographies des points de mesures à la source

Point de mesures sur la plage



Point A



Point D

Points de mesures dans l'estuaire



Point B



Point C



Point E

ANNEXE 2

Méthodes de mesures mises en œuvre

Mesures sur site

L'INERIS a réalisé sur les sacs d'échantillonnage des analyses des composés soufrés réduits totaux (TRS).

L'analyse du SO₂ est réalisée grâce à un appareil Environnement S.A. modèle AF21M (seuil de détection $\approx 1 \mu\text{g}/\text{m}_{20}^3$), utilisant une détection par fluorescence UV après transformation par oxydation thermique des composés soufrés réduits dans un convertisseur et filtration préalable du SO₂, initialement présent dans l'air à analyser.

L'appareil fournit donc un indice en composés soufrés réduits totaux exprimé en équivalent hydrogène sulfuré, correspondant à la somme des concentrations en hydrogène sulfuré, en mercaptans, en sulfures et disulfures organiques et en COS.

Prélèvements par concentration sur site et analyse en différé en laboratoire

Les analyses chimiques suivantes ont été réalisées dans les laboratoires de l'INERIS.

- Identification et quantification de l'hydrogène sulfuré

Le sulfure d'hydrogène (H₂S) est piégé en introduisant une solution d'hydroxyde de cadmium dans les ampoules mises sous vide. Un précipité jaune, le sulfure de cadmium, se forme alors. La teneur en H₂S est ensuite déterminée selon une méthode spectrophotométrique au bleu de méthylène. En milieu acide (H₂SO₄ au demi) et en présence de chlorure ferrique, les sulfures réagissent avec la N-N-diméthyl-p-phénylène diamine pour donner du bleu de méthylène, dont l'intensité est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre, à une longueur d'onde de 655nm. La teneur en sulfure d'hydrogène est alors calculée par comparaison à une courbe d'étalonnage.

- Identification et quantification de l'hydrogène sulfuré, du méthylmercaptan, de l'éthylmercaptan, du diméthylsulfure et du diméthylsulfure

Hydrogène sulfuré : Injection en direct d'une partie aliquote de l'échantillon et analyse par chromatographie avec détection catharométrique.

Autres composés soufrés : Injection en mode online sur système turbomatrix.

ANNEXE 3

Systeme de prelevement par tubes de diffusion
Fiche methode: tubes de diffusion (H₂S)

1. Principe

L'échantillonneur diffusif RADIELLO® est un échantillonneur cylindrique radial composé de deux parties. La première, constituée d'un corps poreux au travers duquel l'air diffuse et la seconde ou la molécule recherchée est piégée sur une surface adsorbante ou adsorbante.



Figure : Principe d'un échantillonneur passif RADIELLO®

2. Méthode de prélèvement

Les tubes de diffusion sont placés dans des abris fixés à environ 2,5 mètres du sol au niveau d'espaces bien dégagés. Pour évaluer une éventuelle contamination lors de la préparation ou du traitement des échantillons, plusieurs blancs de site d'un même lot ont été effectués.

3. Analyses

Les analyses quantitatives d'H₂S se font par spectrométrie visible.

ANNEXE 4

Conditions météorologiques relevées au cours de la
campagne de mesures dans l'environnement

La mise en place d'une station de mesure des paramètres météorologiques en continu sur la période d'étude (du 05 au 11 août 2011) a permis d'obtenir a posteriori une bonne description des conditions météorologiques rencontrées au cours de la campagne d'étude, comme présenté dans les figures suivantes:

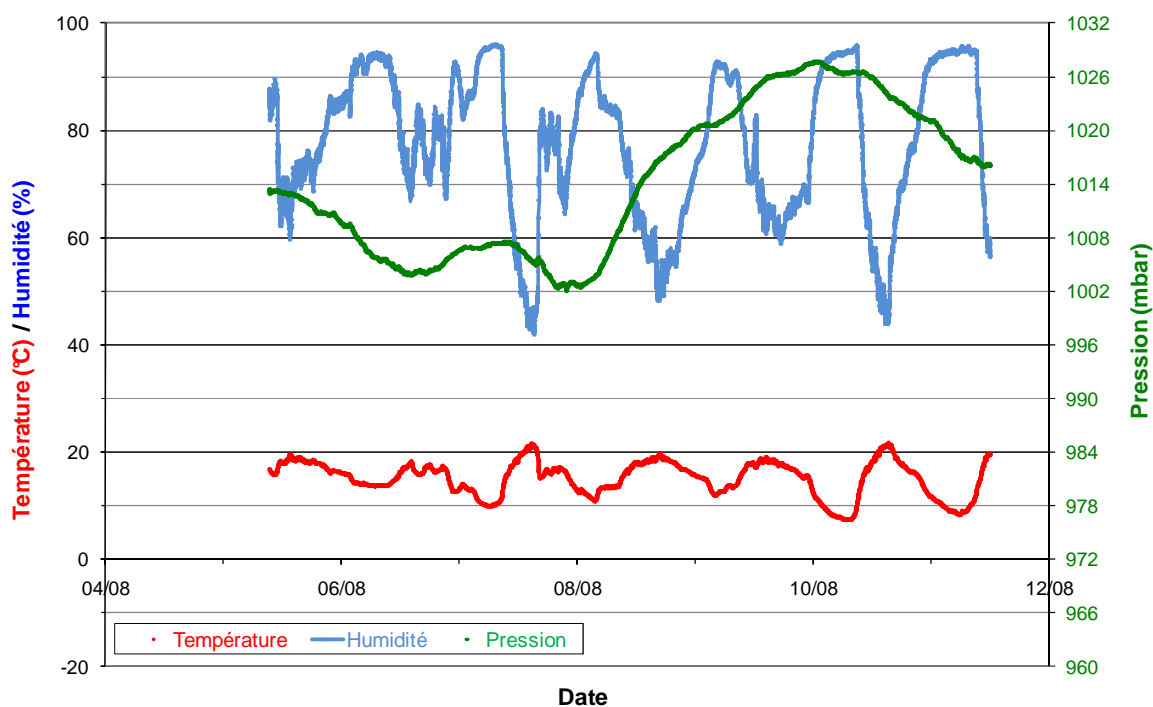


Figure 8: pression, température et humidité – campagne globale

Sur la figure ci-dessus, il apparaît que la campagne de mesure se décompose en 2 périodes :

- La période du 05 au 08 août est caractérisée par des conditions dépressionnaires (pression entre 1002 et 1014 mbar),
- La période du 09 au 11 août est caractérisée par des conditions plutôt anticycloniques (pressions jusqu'à 1027,5 mbar).

Les températures sont restées relativement fraîches, entre 7,5 et 21°C, avec une moyenne de 15,1°C.

Les conditions de vents sont présentées dans les figures suivantes:

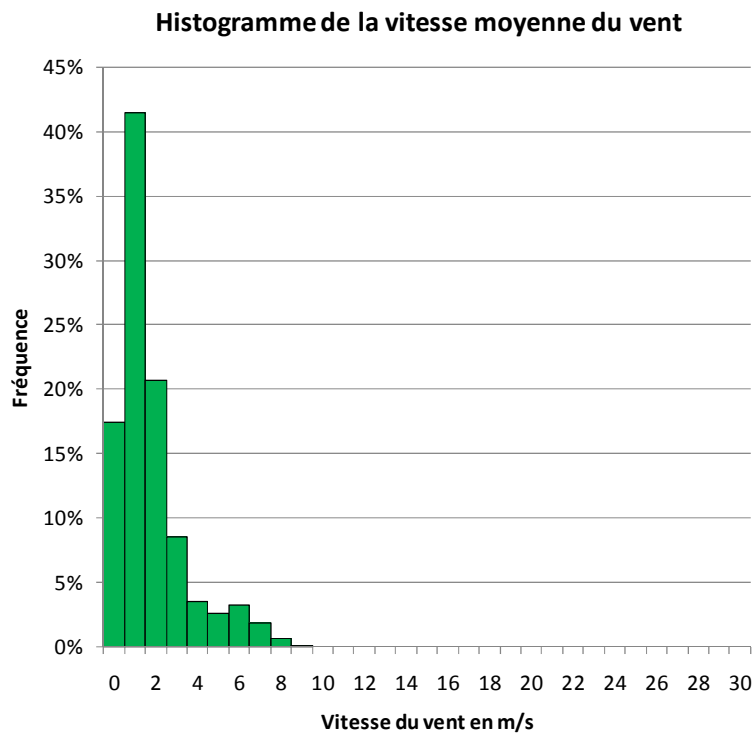


Figure 9: histogramme des vitesses de vent

Sur la figure ci-dessus, il apparaît que les vents au cours de la période d'étude ont été relativement faibles, inférieurs à 3 m/s en général.

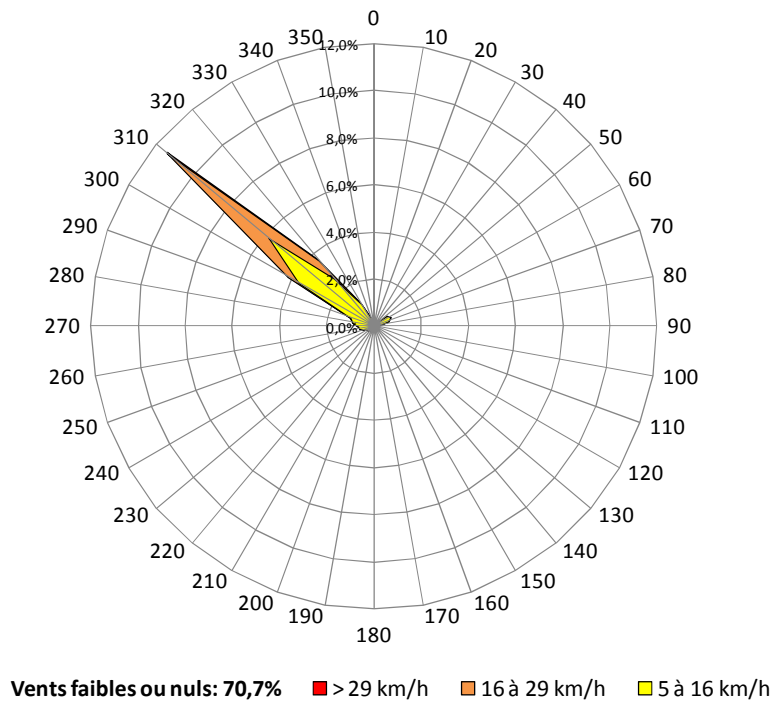


Figure 10: fréquence moyenne (%) des vents – direction et vitesse

La rose des vents présentée ci-dessus est caractérisée par un mode de vents faibles de secteur Nord-Ouest.

D'après cette figure, il apparaît également que pour plus de 70 % du temps, les vents ont été très faibles ou nuls, c'est-à-dire inférieurs à 1,4 m/s (5 km/h). Ce type de conditions induit généralement une très faible dispersion des émissions limitant ainsi leur dilution dans l'air ambiant, avec pour conséquences l'obtention de concentrations sensiblement plus importantes.