

AVIS
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,
de l'environnement et du travail

relatif à la toxicité du sulfure d'hydrogène (H₂S) chez l'animal et aux valeurs de toxicité disponibles dans la bibliographie sur ce sujet pour interpréter des résultats d'autopsie de sangliers et ragondins

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont rendus publics.

RAPPEL DE LA SAISINE

L'Agence nationale de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a été saisie le vendredi 12 août 2011 par la Direction générale de l'alimentation d'une demande d'avis relatif à la toxicité du sulfure d'hydrogène (H₂S) chez l'animal et aux valeurs de toxicité disponibles dans la bibliographie sur ce sujet, pour interpréter des résultats d'autopsie de sangliers et ragondins.

CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Depuis plusieurs années prolifèrent, essentiellement sur les côtes bretonnes, mais également dans une moindre mesure, en Charentes et dans le Cotentin, des algues vertes qui, lorsqu'elles s'accumulent sur les plages, provoquent par leur putréfaction d'importantes émanations de divers composés gazeux dont le sulfure d'hydrogène (H₂S). Ces émanations, compte tenu de leur toxicité, soulèvent une problématique sanitaire qui a conduit le gouvernement à l'adoption, en février 2010, d'un plan de lutte quinquennal contre les algues vertes. L'objectif de ce plan est d'assurer une gestion des risques liés aux algues vertes. L'Anses a été saisie en juillet 2010 dans le cadre de ce plan et a fourni :

- le 15 juillet 2010, un premier avis « 2010-SA-0175 » relatif aux « Recommandations de prévention des risques liés aux algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs »,
- le 16 juin 2011, un rapport d'expertise collective « Algues vertes » et un second avis « 2010-SA-0175 » relatif aux « Risques liés aux émissions gazeuses des algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs ».

Dans ce contexte, ont été constatées, pour ce qui concerne la santé animale, en 2008, la mort de deux chiens sur la plage d'Hillion (Baie de Morieux (22)), et en 2009 celle d'un cheval, en bordure de mer à Saint-Michel-en-Grève à proximité de Lannion. Les autopsies des animaux ont mis en évidence, sur le cheval et l'un des chiens, des lésions d'œdème pulmonaire mais les experts n'ont pas eu la connaissance d'analyses toxicologiques diligentées pour ces animaux¹.

En 2011, des cadavres d'animaux sauvages ont été découverts durant les mois de juillet et août sur les berges de l'estuaire de la rivière Guessant, à proximité de la plage de Saint-Maurice de Morieux dans les Côtes-d'Armor. Au total, sont morts :

- trente-six sangliers sur une compagnie dont la taille pouvait être estimée à une quarantaine d'individus, vivant autour du Guessant (alerte donnée par le réseau SAGIR, réseau national de surveillance épidémiologique de la faune sauvage ONCFS/FNC/FDC),
- trois ragondins (dont un trouvé agonisant au niveau du barrage de pont Rolland et euthanasié par les services de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage, ONCFS),
- un blaireau.

Des examens complémentaires visant à déterminer les causes de la mort de ces animaux ont été demandés par le gestionnaire :

- l'autopsie des cadavres dont l'état de conservation permettait l'examen (LDA 22) :
 - o un premier lot de trois laies et quatre marcassins a été autopsié le 25 juillet 2011 ;
 - o un deuxième lot de trois laies, un sanglier et quatorze marcassins a été autopsié le 27 juillet 2011 ;
 - o deux ragondins ont été autopsiés le 2 août 2011, le troisième le 3 août.
- tous les animaux ont fait l'objet de prélèvements conservatoires en vue des expertises et contre expertises éventuelles (échantillons de différents tissus conservés au congélateur ou dans des liquides de conservation) (LDA 22).
- des échantillons du premier lot (comprenant trois laies et quatre marcassins autopsiés le 25 juillet 2011) ont été transmis à deux laboratoires spécialisés dans la réalisation d'analyses toxicologiques. Le choix des échantillons transmis a été fait en fonction de la nature des analyses (nature et quantités des échantillons, mode de conservation, ...).
- les échantillons de sang et de poumon des trois laies, de trois des quatre marcassins (l'un n'étant pas exploitable pour l'autopsie ni pour les prélèvements) et de deux ragondins ont été transmis au laboratoire Chemtox en Alsace pour la recherche d'H₂S. Les échantillons de foie et de contenu stomacal de deux laies ont été transmis au laboratoire de toxicologie de VetAgroSup de Lyon pour la recherche des inhibiteurs des cholinestérases, des composés organochlorés, organophosphorés, des carbamates, des rodenticides anticoagulants, des convulsivants simples, du cyanure et du chloralose. Ces molécules ont été ciblées en tenant compte des commémoratifs et de la fréquence des intoxications, par ces molécules, de la faune sauvage. Cette liste a été élaborée après consultation de différents experts en toxicologie animale.

Le gestionnaire a également demandé une caractérisation du milieu de la baie de Morieux au regard de l'H₂S par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS).

Enfin le gestionnaire a souhaité connaître le niveau de contamination par les cyanobactéries :

- des animaux morts (prélèvements au niveau de la bouche et de l'œsophage) ;
- de l'eau, de la vase et des sédiments (prélèvements en amont et en aval du barrage du Guessant).

¹ Note de l'Anses : l'Agence a reçu, postérieurement aux travaux du groupe d'expertise collective d'urgence « Toxicité de l'H₂S chez l'animal », les résultats de recherche de sulfure d'hydrogène dans les prélèvements pulmonaires du cheval mort en 2009 indiquant une valeur de : 1,18mg/kg.

Dans ce contexte et au regard des résultats disponibles, la DGAI souhaite pouvoir conclure précisément quant à l'implication ou non de l'H₂S dans la survenue de la mort de ces animaux. L'Anses est sollicitée pour apporter des éléments de connaissance et d'interprétation, afin de répondre aux différentes questions du questionnaire listées ci-après.

Questions instruites

- « **Question 1 : toxicité aiguë de l'H₂S.** L'Agence devra fournir un récapitulatif des valeurs de toxicité aiguë de l'H₂S chez les espèces animales sensibles, notamment des données sur les animaux sauvages, en particulier le sanglier et le ragondin, si elles existent dans la bibliographie (sur des bases expérimentales ou d'observation) ou si elles peuvent être déduites des données sur d'autres espèces (par exemple de laboratoire) à dire d'experts. A priori, ces valeurs devraient être exprimées en concentration d'H₂S par inhalation pendant un temps d'exposition donné ;
- **Question 2 : marqueurs d'exposition à l'H₂S et valeurs attendues.** L'Anses est chargée par le gestionnaire de déterminer quels sont les meilleurs marqueurs biologiques pour ce type d'intoxication (la littérature fait notamment état de dosages de thiosulfates urinaires quelques heures après inhalation aiguë) et de fournir les valeurs standards attendues pour les marqueurs pertinents d'exposition à H₂S chez les espèces animales sensibles, notamment pour les animaux sauvages, en particulier pour le sanglier et le ragondin ;
- **Question 3 : interprétation des résultats observés.** L'Anses devra déterminer si les niveaux de contamination observés dans les cadavres de sangliers et de ragondins peuvent être à l'origine de leur mort. »

ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise collective a été réalisée par le groupe d'expertise collective d'urgence (GECU) « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » qui s'est réuni le 25 août 2011 à l'Anses et par moyens télématiques. La coordination scientifique du Comité d'experts spécialisé « Santé animale » a élaboré un projet d'avis qui a été étudié par les membres du GECU et validé par moyens télématiques le 29 août 2011. Le traitement de cette saisine s'est également appuyé sur les compétences de différentes unités de l'Agence.

L'expertise a été conduite sur la base :

- de la lettre de saisine de la Direction générale de l'alimentation (DGAI) en date du 12 août 2011 ;
- du document attaché à la saisine n°2011-SA-0225 :
 - o synthèse des autopsies réalisées sur les sangliers et les ragondins morts.
- des documents fournis par la DGAI à la demande de l'Anses :
 - o document de la cellule alerte de la DGAI relatif à la mortalité de sangliers dans les Côtes d'Armor (22) relatant les éléments factuels au 19 août 2011 ;
 - o rapports d'analyses dans leur exhaustivité : comptes rendus d'autopsies du Laboratoire départemental d'analyses (LDA) 22, comptes rendus d'analyses toxicologiques (organochlorés, inhibiteurs de cholinestérases, chloralose, anticoagulants, sulfure d'hydrogène) ;
- des documents fournis par l'ONCFS et des contacts pris avec le service départemental de l'ONCFS des Côtes-d'Armor et les agents responsables du réseau SAGIR :
 - o note du mois de juillet 2011 du responsable national SAGIR ;
 - o note du mois d'août 2011 du responsable national SAGIR ;

- rapport ONCFS (service départemental 22) sur l'historique de la récolte des cadavres ;
 - rapport ONCFS (service départemental 22) sur l'état des populations de sangliers dans la zone ;
 - rapport ONCFS (service départemental 22) d'observations de sangliers dans la zone par le SD22.
- de l'audition par téléphone d'un scientifique du LDA 22, au cours de la réunion du GECU du 25 août 2011 ;
 - de l'audition par téléphone d'un scientifique de l'INERIS, au cours de la réunion du GECU du 25 août 2011 ;
 - des avis de l'Anses n°2010-SA-0175 :
 - du 15 juillet 2010 relatif aux « Recommandations de prévention des risques liés aux algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs » ;
 - du 16 juin 2011 relatif aux « Risques liés aux émissions gazeuses des algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs » ;
 - du rapport d'expertise collective de l'Anses « Algues vertes » ;
 - de la bibliographie citée en fin du présent avis.

ANALYSE ET CONCLUSION DU GECU

L'argumentaire de l'Anses est fondé sur le rapport du Groupe d'expertise collective d'urgence « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » dont les éléments sont présentés ci-dessous :

1. Question 1 : « toxicité aiguë de l'H₂S : l'Agence est sollicitée pour fournir un récapitulatif des valeurs de toxicité aiguë de l'H₂S chez les espèces animales sensibles, notamment des données sur les animaux sauvages, en particulier le sanglier et le ragondin, si elles existent dans la bibliographie (sur des bases expérimentales ou d'observation) ou si elles peuvent être déduites des données sur d'autres espèces (par exemple de laboratoire) à dire d'experts. A priori, ces valeurs seraient exprimées en concentration d'H₂S par inhalation pendant un temps d'exposition donné »

« Les éléments bibliographiques rassemblés par les membres du GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » dans le contexte d'urgence de la saisine 2011-SA-0225 ne comportent aucune valeur de toxicité aiguë du sulfure d'hydrogène chez les animaux sauvages, notamment chez le sanglier ou le ragondin.

Si la littérature consacrée à la toxicité de l'H₂S dans l'espèce humaine est relativement abondante, en santé animale, seules sont disponibles quelques valeurs de toxicité aiguë chez les rats, souris, lapins (Cain., 1970, INERIS, 2000, Dorman et al., 2002), porcs et ruminants (Cain, 1970, Beauchamp et al., 1984).

Le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » s'accorde cependant, au regard des publications étudiées et des mécanismes d'action retenus pour H₂S, pour conclure sur le fait que les valeurs de toxicité aiguë pour la mortalité sont assez comparables d'une espèce animale à l'autre et cohérentes avec les données disponibles en médecine humaine.

Toutefois, ce constat devrait être réalisé avec précaution. Ces valeurs de toxicité aiguë, si elles comportent des variations faibles en fonction de l'espèce animale considérée, présentent une variabilité individuelle non négligeable, ainsi que des écarts de valeurs importants en fonction des temps d'exposition auxquels sont soumis les animaux (O'Donoghue, 1961, Novotny-Baumann, 2008 d'après Querellou et al. 2005, Gabbay et al. 2001).

Sur cette base, le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » propose au gestionnaire d'extrapoler, à partir de valeurs de toxicité aiguë disponibles dans la bibliographie chez les petits rongeurs de laboratoire (rats et souris) et le porc, les valeurs de toxicité aiguë de l'H₂S, respectivement chez le ragondin et le sanglier.

Il est possible que le porc, en raison de la sélection génétique à laquelle est soumise cette espèce, puisse présenter une plus grande sensibilité aux gaz toxiques que le sanglier. Toutefois, dans la situation faisant l'objet de la présente saisine, des marcassins ont été trouvés morts en nombre important. Ceux-ci, en tant que jeunes de l'espèce, pourraient aussi présenter un seuil de sensibilité plus faible que celui de l'adulte, du fait notamment de leur volémie et de leur capacité respiratoire plus faibles.

Au vu du contexte, seuls les effets mortels ont été comparés, les extrapolations proposées ne sont pas forcément validées pour d'autres effets.

Dans un souci de cohérence, l'ensemble des valeurs de toxicité aiguë exprimé dans cet avis le sera en mg/m³ pour un temps d'exposition donné (1ppm=1,4mg/m³).

Valeurs extraites de la bibliographie proposées par le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal »

Animal sensible	Référence(s) bibliographique(s)	Valeur de toxicité aiguë (mg/m ³ /temps d'exposition en minutes)	Animal sauvage pour lequel cette valeur est extrapolée
Rat/ souris	Beauchamp et al., 1984 Cain, W.S., 1970 Dorman et al., 2002 INERIS, 2000	CL₅₀ CL ₅₀ : 600 mg/m ³ – 240mn CL ₅₀ : 900 à 1 000 mg/m ³ – 60mn CL ₅₀ : 1 000 à 1 100 mg/m ³ – 30mn CL ₅₀ : 1 100 à 1 600 mg/m ³ – 10mn	Ragondin
Porc	Beauchamp et al., 1984 O'Donoghue, 1961	Concentrations létales (observées sur un seul animal) 1 400 mg/m ³ – 100mn 1 500 mg/m ³ – 20mn	Sanglier

2. Question 2 : « Marqueurs d'exposition à H₂S et valeurs attendues. L'Anses est chargée par le gestionnaire de déterminer quels sont les meilleurs marqueurs biologiques pour ce type d'intoxication (la littérature fait notamment état de dosages de thiosulfates urinaires quelques heures après inhalation aiguë) et de fournir les valeurs standards attendues pour les marqueurs pertinents d'exposition à H₂S chez les espèces animales sensibles, notamment pour les animaux sauvages, en particulier pour le sanglier et le ragondin »

2.1 Recherche d'H₂S dans le sang

Les prélèvements de sang de plusieurs des cadavres étudiés ont révélé des résultats négatifs pour le dosage d'H₂S. Il semble cependant, au regard :

- d'une part, du délai écoulé entre la mort ou l'exposition éventuelle des animaux à l'H₂S et la collecte des animaux ;
- d'autre part, de la labilité de la molécule recherchée,

que ces résultats ne permettent pas d'exclure une intoxication par ce gaz. En effet, les publications de santé publique recommandent que les prélèvements destinés à la recherche de sulfures soient effectués le plus tôt possible, dans les 45 minutes, après exposition, et analysés sans délai (Novotny-Baumann, 2008, d'après Gunn et Wong, 2001, Inrs 2009).

2.2 Recherche d'H₂S dans les organes cibles : poumons et cerveau

Il ressort des éléments bibliographiques disponibles au moment où s'est déroulée l'expertise, que le sulfure d'hydrogène devrait prioritairement faire l'objet d'un dosage dans les organes cibles : cerveau et poumons (Milby et Baselt, 1999 ; Novotny-Baumann, 2008 ; Sastre et al., 2010).

2.2.1 Dans les poumons

Les données disponibles chez le rat (Dorman et al., 2002) font état d'une augmentation de la concentration en H₂S pulmonaire en fonction des valeurs et durées d'exposition à ce gaz. Toutefois, ces concentrations pulmonaires décroissent rapidement après l'arrêt de l'exposition. Compte tenu du caractère transitoire de l'augmentation des sulfures dans les poumons, la recherche d'H₂S dans cet organe nécessite d'être complétée par d'autres investigations.

Les publications de médecine humaine font état, lors d'intoxication aiguë provoquée par le sulfure d'hydrogène, de valeurs de dosage de l'H₂S dans les poumons supérieures ou égales à 1 mg/kg (Milby et Baselt, 1999).

2.2.2 Dans le cerveau

Des teneurs en sulfure d'hydrogène peuvent être observées dans le cerveau de rats à la suite d'intoxications par ce gaz à des doses létales (Dorman, 2002, d'après Warenycia et al., 1989). Les données établies en médecine humaine pour la recherche de l'H₂S dans cet organe correspondent à celles citées ci-dessus pour les poumons ; des doses supérieures ou égales à 1 mg/kg d'H₂S sont relevées dans le cerveau lors d'intoxication aiguë par ce gaz.

2.3 Marqueurs d'exposition à H₂S

2.3.1 Thiosulfates urinaires

Il apparaît, à la lecture des articles disponibles sur le sujet (Milby et Baselt, 1999 ; Novotny-Baumann, 2008 ; Inrs, 2009, Sastre et al., 2010), que les thiosulfates n'apparaissent dans les urines que plusieurs heures après l'intoxication par H₂S et sont donc considérés comme un indicateur d'exposition à des concentrations d'H₂S uniquement non létales. Cette analyse peut être complétée, en médecine humaine, en cas de suspicion d'intoxication létale au sulfure d'hydrogène, par un dosage des thiosulfates dans le sang (Kage et al., 1997, Novotny-Baumann, 2008, d'après Yalamanchili et al., 1988)

2.3.2 Thiosulfates sanguins

Les thiosulfates sanguins présentent deux caractéristiques leur conférant une bonne qualité en tant que biomarqueurs post-mortem d'exposition à H₂S :

- *la stabilité, même après la mort de l'animal ;*
- *l'absence d'altération au cours du stockage.*

Les thiosulfates sanguins paraissent donc constituer un marqueur de choix d'exposition à H₂S en cas d'intoxication aiguë mortelle par ce gaz.

Le dosage de ces molécules dans le sang peut ainsi venir compléter le dosage de sulfure d'hydrogène dans le cerveau et le poumon des cadavres des animaux, susceptibles d'avoir été intoxiqués par le sulfure d'hydrogène.

L'étude des différentes publications par le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » n'a pas permis l'identification de valeurs standards attendues pour ces marqueurs chez l'animal et en particulier, le sanglier ou le ragondin.

Les experts du GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » s'accordent sur une extrapolation possible à l'animal des données établies comme valeurs seuils de létalité en santé publique pour le dosage des thiosulfates sanguins, d'une part, et le dosage de l'H₂S dans les organes, d'autre part.

Les valeurs retenues et proposées par le GECU comme témoignant d'une exposition importante à des composés soufrés, se traduisant par des effets majeurs sur la santé lorsqu'il s'agit de H₂S, sont les suivantes :

- dosage des thiosulfates sanguins : > 2 µg/ml de sang (Novotny-Baumann, 2008, d'après Yalamanchili et al. 1988) ;
- dosage de l'H₂S dans le cerveau et/les poumons : > 1 mg/kg (Milby et Baselt, 1999).

Si des prélèvements (caillot cardiaque et cerveau) réalisés sur les sangliers et les ragondins ont été conservés et que les conditions de stockage sont compatibles avec de tels dosages (congélation), le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » recommande que soit réalisé un dosage des thiosulfates dans le sang et de sulfure d'hydrogène dans le cerveau qui permettrait de consolider certaines hypothèses diagnostiques évoquées.

3. Question 3 : « interprétation des résultats observés : l'Anses devra déterminer si les niveaux de contamination observés dans les cadavres de sangliers et de ragondins peuvent être à l'origine de leur mort »

3.1 Emission d'hypothèses diagnostiques

3.1.1 Eléments contextuels/commémoratifs

Le développement d'une compagnie de sangliers dans la vallée du Gouessant n'a été relevé que récemment par les agents du Service Départemental des Côtes-d'Armor de l'ONCFS. Les Côtes-d'Armor font partie des départements français peu peuplés en sangliers. Toutefois une conjonction de facteurs peut favoriser ponctuellement l'établissement d'une compagnie dans un secteur donné. Ainsi, des fonds de rivières comme le Gouessant, peu accessibles à l'homme, constituent un environnement dont la quiétude, l'apport d'un couvert végétal suffisant et la présence d'un point d'eau douce permettant l'abreuvement, sont favorables à l'installation de ces animaux. Le secteur, très escarpé est en outre difficile à chasser.

Indépendamment de tout autre facteur, il n'est donc pas surprenant qu'aucune mortalité anormale de sangliers n'ait été relevée jusqu'alors, en raison du caractère récent du développement de la compagnie dans cette zone, mais des mortalités ponctuelles de sangliers (ou de ragondins) ont pu passer inaperçues les années précédentes.

La base de données du Réseau SAGIR, au regard de la mortalité de sangliers en France, depuis plus de 25 ans, ne fait pas état (ou très rarement) d'une mortalité massive de sangliers comme celle qui a été constatée cette année sur la commune de Morieux. Il semble, en effet, qu'une grande partie de la compagnie soit morte le même jour (ou à un ou deux jours d'intervalle) mais que le ramassage des cadavres n'ait pu être effectué que sur un délai d'une semaine environ (zone de ramassage des cadavres peu praticable).

3.1.2 Eléments d'analyse des comptes-rendus d'autopsie

Le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal », à la suite de l'étude des comptes-rendus d'autopsie du LDA 22 pour les sangliers et ragondins examinés et exploitables, a retenu les éléments d'intérêt suivants :

- un tableau lésionnel de l'appareil respiratoire décrivant :
 - o de l'emphysème pulmonaire chez tous les sangliers ;
 - o de la congestion chez tous les animaux (sangliers et ragondins) ;
 - o et de l'œdème chez 70% des sangliers ainsi que chez tous les ragondins ;
- des estomacs en réplétion contenant, pour les sangliers, de l'ensilage et du blé ;
- une conjonctivite pour la quasi-totalité des sangliers ;
- la présence de vase dans l'appareil respiratoire supérieur pour 60% des sangliers.

Un seul cadavre de blaireau a été examiné, mais n'était pas dans un état de conservation suffisant pour mener une investigation complète.

L'observation d'estomacs en réplétion pour tous les sangliers autopsiés laisse penser que ces animaux s'étaient approchés de la rivière du Gouessant en vue de s'abreuver. En effet, il convient de noter, par comparaison, que les porcs s'abreuvent généralement après une prise alimentaire solide, le plus souvent une vingtaine de minutes après celle-ci.

3.1.3 Hypothèses diagnostiques

Ce phénomène rare de mortalité aiguë et massive amène le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » à exclure en premier lieu les hypothèses :

- *d'une pathologie infectieuse ou parasitaire, peu compatible avec une mortalité brutale et simultanée de plusieurs dizaines d'animaux appartenant à deux espèces différentes et les tableaux lésionnels observés lors des autopsies ;*
- *d'une noyade, celle-ci ayant été exclue par l'analyse des comptes-rendus d'autopsie d'une part (absence d'eau dans les poumons lors de l'examen) et par l'implication dans ce phénomène ponctuel de mortalité aiguë, d'une autre espèce animale inféodée aux milieux aquatiques (ragondin).*

La rareté d'une mortalité massive et groupée chez les sangliers, ainsi que les données du Réseau SAGIR, attestant que les cas documentés de mortalité importante, sur un territoire restreint et dans un délai court, sont consécutifs à une intoxication, conduisent le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » à s'orienter, dans un premier temps, vers l'hypothèse la plus probable d'une intoxication aiguë, pouvant avoir conduit à la mort des animaux.

Partant de ce constat et au vu des premiers éléments d'investigations disponibles, le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » a envisagé, par ordre croissant de probabilité, cinq autres hypothèses étiologiques :

- *une intoxication aiguë liée à un acte de malveillance ou de mésusage ;*
- *une intoxication alimentaire, par consommation de plantes toxiques ;*
- *une intoxication par la toxine botulinique ;*
- *une intoxication par une toxine bactérienne (cyanobactérie) ;*
- *une intoxication par exposition à une forte concentration d'H₂S produit localement par la vase et/ou par les algues en putréfaction ;*
ceci sans exclusion d'une contribution possible de plusieurs facteurs se renforçant.

3.2 Hypothèses d'intoxication aiguë

3.2.1 Hypothèse d'une intoxication aiguë liée à un acte de malveillance ou de mésusage

La recherche de molécules les plus couramment impliquées dans des intoxications aiguës ou suraiguës, dans les prélèvements réalisés sur les cadavres, n'a pas fourni de résultat pouvant expliquer la mort des sangliers par ces molécules. De nombreuses molécules ou familles chimiques ont été recherchées et notamment celles les plus fréquemment impliquées dans ce type d'intoxication chez le sanglier : organochlorés, organophosphorés, carbamates, rodenticides anticoagulants, cyanure, chloralose.

Les experts du GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » ont relevé la présence de chloralose dans le contenu gastrique de l'un des cadavres mais ont exclu l'hypothèse que cette molécule soit responsable du décès en raison :

- *de la faible dose de chloralose détectée ;*
- *de la faible sensibilité des mammifères à cette molécule (au regard de la dose présente dans le bol alimentaire) ;*
- *de la présence de cette molécule dans le contenu gastrique d'un seul des animaux considérés.*

3.2.2 Hypothèse d'une intoxication alimentaire par consommation de plantes toxiques

La recherche de plantes toxiques dans la zone concernée ne paraît pas avoir été mise en œuvre. Ceci ne permet pas d'exclure formellement cette hypothèse. Toutefois, il est remarquable que les estomacs de tous les animaux étaient en réplétion (présence essentiellement d'ensilage et de blé). Ils n'étaient donc pas en période de disette alimentaire, susceptible de conduire à la recherche d'aliments inhabituels. Cette hypothèse reste donc peu probable.

3.2.3 Hypothèse d'une intoxication par la toxine botulinique

La toxine botulinique est présente dans la vase et les invertébrés fouisseurs. Toutefois, les éléments notés dans les rapports d'autopsie ne sont pas en faveur du botulisme.

3.2.4 Hypothèse d'une intoxication aiguë par des cyanotoxines

L'hypothèse de la mort des animaux liée à une paralysie par des cyanotoxines a été discutée par le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal ». Ces toxines, notamment celles à tropisme neurologique telles que l'anatoxine A et les saxitoxines, peuvent être à l'origine d'un décès rapide de nombreux animaux dans un délai très court (de l'ordre de quelques dizaines de minutes).

Des prélèvements d'eau ont été réalisés pour deux sites « Pont Rolland » et « Barrage côté Hillion ». Un nombre important de cellules de *Microcystis* et *Pseudanabaena* a été mis en évidence uniquement en amont du barrage.

Des analyses de toxines ont été réalisées sur les microcystines (toxines hépatiques couramment recherchées). Selon la note de synthèse de la DGAL, les concentrations mesurées sont supérieures en certains points à la limite de qualité pour l'eau destinée à la consommation humaine (1 µg/l).

Les analyses de neurotoxines dans l'eau, quant à elles, sont inférieures au seuil de détection.

Dans le cadre de l'audition, le scientifique de l'INERIS indique que les recherches d'anatoxines dans les sédiments du Gouessant ont révélé des résultats négatifs.

Toutefois, la recherche ciblée de cyanotoxines dans les tissus animaux n'ayant pas été réalisée, le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » recommande que celle-ci soit effectuée sur quelques prélèvements conservés afin d'exclure ou non les cyanotoxines du diagnostic étiologique.

3.2.5 Hypothèse d'une intoxication aiguë liée au sulfure d'hydrogène

3.2.5.1 Analyses des éléments de laboratoire

- Résultats d'analyses de dosages d'H₂S dans les poumons

L'étude des taux d'H₂S relevés dans les poumons des cadavres faisant l'objet de cette saisine, a amené les experts au constat de valeurs supérieures à 1 mg/kg, considérées comme révélatrices d'une intoxication aiguë par l'H₂S (Milby et Baselt, 1999), pour quatre animaux sur huit (trois sangliers et un ragondin). En revanche, quatre autres cadavres analysés présentent des valeurs inférieures au seuil de détection de la méthode (0,1 mg/kg).

- Résultats d'analyses de dosages d'H₂S dans le sang

Comme indiqué par le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » dans sa réponse à la question 2, au paragraphe 2.1 du présent avis, les prélèvements de sang de plusieurs des cadavres étudiés ont révélé des résultats négatifs pour la recherche d'H₂S. Il semble, cependant, au regard du délai de collecte des animaux par rapport au moment de la mort et de la labilité de la molécule recherchée, que ces résultats ne soient pas de nature à exclure une intoxication par ce gaz.

- Comptes-rendus d'autopsie

Lésions organiques

Les tableaux lésionnels relatés dans les comptes-rendus d'autopsies font état de nombreux cadavres de sangliers et ragondins présentant des éléments compatibles avec une intoxication par l' H_2S , notamment :

- un œdème pulmonaire pour 16 sangliers sur 22 et la totalité des 3 ragondins autopsiés (Beauchamp et al., 1984, Reiffenstein et al., 1992, Guidotti, 1994) ;
- une conjonctivite pour 10 sangliers sur 22 autopsiés (5/6 pour le lot n°2), (Ducreux, 2010).

Le GECU « Toxicité de l' H_2S chez l'animal » s'est également interrogé sur les étiologies possibles des lésions pulmonaires relevées à l'autopsie. Le scientifique du laboratoire départemental auditionné a indiqué que les lésions de l'arbre respiratoire, et plus spécifiquement l'œdème pulmonaire observé lors de l'examen post-mortem de la laie n° 52484-2 et du ragondin n° 54016-1 cités ci-après, étaient compatibles avec une intoxication provoquée par un gaz.

Il semble par ailleurs que la mort de porcs élevés en bâtiment, consécutive à de fortes concentrations en H_2S suite à un arrêt de la ventilation dans les locaux ou à une acidification accidentelle des lisiers, soit à l'origine de lésions de l'appareil respiratoire similaires à celles constatées sur les cadavres des animaux sauvages faisant l'objet de cette saisine (Borst, 2001).

Présence de vase dans l'appareil respiratoire supérieur

De la vase est notée dans l'appareil respiratoire supérieur de treize sangliers sur 22 autopsiés signant :

- une exposition importante et proche à la vasière et ses émanations ;
- une suffocation par obstruction pour certains animaux, au moins dans la phase agonique. Cette obstruction a pu être favorisée par l'œdème pulmonaire.

(Le GECU signale que la présence de vase dans la bouche ne peut être interprétée en raison de la stagnation des cadavres sur la vasière en des lieux submergés lors de marées).

- Mise en perspective des résultats d'analyses de dosages d' H_2S dans les poumons et des comptes-rendus d'autopsie

Il a été constaté pour certains animaux, une corrélation du tableau lésionnel avec les concentrations en H_2S relevées sur les échantillons de poumons :

- la laie n° 52484-2 (œdème pulmonaire et 1,47 mg/kg d' H_2S),
- le marcassin n° 52484-7 (léger œdème diffus et 1,72 mg/kg d' H_2S),
- le marcassin n° 52484-5 (œdème diffus et 0,93 mg/kg d' H_2S),
- le ragondin n° 54016-1 (important œdème et 2,45 mg/kg d' H_2S).

L'audition d'un scientifique du laboratoire départemental d'analyse (22) vient confirmer cette observation. Ces teneurs élevées en H_2S auraient pu être imputables à une putréfaction des prélèvements. Toutefois, le bon état de conservation des cadavres, pour lesquels une teneur en H_2S élevée a été constatée sur les poumons (laie n° 52484-2, ragondin n° 54016-1) ainsi que les modalités de prélèvements, et de conservation de ces prélèvements, permettent d'exclure cette hypothèse.

Conclusion

Les différents éléments des résultats d'analyses et d'autopsies et l'absence d'autres lésions caractéristiques seraient donc en faveur de l'hypothèse diagnostique d'une exposition aérienne à un toxique à des concentrations suffisantes pour immobiliser les sangliers dans la vasière des bords de l'estuaire du Gouessant.

Pour les ragondins, le faible nombre d'animaux trouvés en un autre lieu fournit un tableau plus difficile à interpréter mais en faveur également d'une atteinte par voie respiratoire.

3.2.5.2 Analyse des données d'exposition des animaux à l'H₂S

- *Eléments en faveur d'une exposition à de fortes concentrations en H₂S*

La plupart des animaux ont été retrouvés morts dans l'estuaire du Gouessant, quelques autres sur la plage de Saint-Maurice de Morieux.

Plage de Saint-Maurice de Morieux

L'exposition des animaux à des fortes concentrations d'H₂S est un scénario possible sur la plage de Saint-Maurice de Morieux. De nombreuses données sont actuellement disponibles décrivant l'émission de gaz toxiques et notamment du sulfure d'hydrogène par les algues vertes échouées et se décomposant sur la plage (Ducreux, 2010, Anses, 2011). L'audition d'un scientifique de l'INERIS au cours de la réunion du GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » a permis de confirmer la possibilité d'une exposition des sangliers sur la plage de Saint-Maurice à de très fortes concentration d'H₂S ; les mesures réalisées par cet organisme, depuis fin juillet 2011 jusqu'en août 2011, ayant permis de mettre en évidence, à hauteur du sol, au dessus des croûtes formées par les algues, des valeurs supérieures à 4200 mg/m³ d'H₂S (et jusqu'à 7 000 mg/m³) émis lors du percement de la croûte d'algues.

Estuaire du Gouessant

- *Au regard de l'estuaire du Gouessant, la municipalité d'Hillion, située à l'ouest de la rivière et ramassant les algues vertes dans la baie au sein de laquelle ont été retrouvés les cadavres de sangliers, a précisé lors d'un contact le 24 août 2011, que les algues vertes échouées sur la plage pouvaient, emportées par la marée montante, remonter l'estuaire jusqu'au barrage du pont Rolland. Dans cette zone, les algues sont susceptibles ensuite de se mélanger à la vase et de participer ainsi à la masse de matière organique dont la décomposition peut conduire, localement et ponctuellement, à de fortes concentrations en H₂S.*
Un scientifique de l'INERIS contacté le 29 août 2011 a confirmé qu'en tout point de prise de mesure dans l'estuaire du Gouessant, des algues vertes étaient visibles, en transparence à travers la vase, attestant localement d'un mélange d'algues et de vase.
- *En outre, durant le mois de juillet 2011, a été enregistré pour cette commune un faible niveau pluviométrique. Cet élément, participant au faible lessivage des berges du Gouessant, peut conduire à l'augmentation de la richesse des vases en matière organique, majorant ainsi le phénomène de fermentation à l'origine de composés gazeux toxiques.*
- *De même, les coefficients de marée enregistrés durant la semaine où ont été collectés la majorité des sangliers et ragondins, étaient relativement faibles et compris entre 39 et 42, et ont également participé au faible lessivage et à l'absence d'oxygénation.*
- *Le phénomène de vase, concentrant des éléments à haute vitesse de décomposition en raison d'absence de salinité est décrit, mais cette décomposition de matière organique à l'origine de production gazeuse dépend éminemment du terrain et semble être très localisée.*
- *Les agents de l'ONCFS, chargés du ramassage des cadavres d'animaux, ainsi que des scientifiques de l'INERIS, chargés des mesures de concentrations en H₂S sur les lieux, confirment l'observation d'une vase en activité, produisant de nombreuses bulles de gaz en surface.*

En conclusion, au regard de la zone estuarienne du Gouessant, les éléments sont en faveur de l'émission de gaz par la vase, et de sulfure d'hydrogène en particulier, susceptible d'être à l'origine d'une exposition des animaux sauvages à des concentration d'H₂S pouvant entraîner des effets toxiques.

- *Éléments d'incertitude quant à une exposition à de fortes concentrations en H₂S*
- *Les faibles coefficients de marée relevés durant la semaine de mortalité des sangliers, paraissent exclure la possibilité d'un transport des cadavres par la marée sur de longues distances. La topographie des lieux de ramassage des cadavres correspondrait donc, à quelques dizaines de mètres près, à celle du lieu de la mort des individus.
Cette hypothèse est renforcée par la forte probabilité que les animaux soient venus dans l'estuaire du Gouessant pour s'abreuver, après s'être alimentés.
Une majorité des sangliers a été collectée au fond de l'estuaire du Gouessant, zone pour laquelle l'audition d'un scientifique de l'INERIS vient confirmer l'existence de larges vasières contenant des algues vertes. Les données de concentrations d'H₂S relevées au dessus de la vase, en trois points de l'estuaire du Gouessant, par l'INERIS durant les 5 et 6 août 2011, révèlent des valeurs de concentration de l'air en H₂S relativement faibles (de l'ordre de 14 à 140 mg/m³) et peu compatibles avec une hypothèse d'intoxication aiguë susceptible de provoquer l'évanouissement puis l'étouffement des animaux par de la vase. Les mesures relevées par l'INERIS durant le mois d'août 2011 à hauteur de vase, sont en cohérence avec les mesures réalisées par Air Breizh du 04 au 11 août 2011 à Morieux. L'INERIS n'exclut cependant pas la possibilité, en raison d'un aspect cyclique des concentrations en H₂S au dessus de la vase, de concentrations beaucoup plus élevées que celles qui ont pu être relevées par ses services.*
- *Les mesures ont été réalisées plusieurs jours après la mort des animaux et seulement en trois points de prélèvements dans l'estuaire ; il conviendrait pour des raisons de représentativité, de les interpréter avec précaution, compte tenu de la haute variabilité d'émission des gaz par la vase, liée notamment à des facteurs météorologiques et de terrain. Des modifications momentanées du régime hydraulique du Gouessant peuvent également avoir perturbé la couche de vase et facilité le relargage du gaz dissous (cf. barrage).*

En tenant compte de l'ensemble des informations et commémoratifs disponibles, et en l'absence des données réelles d'exposition de ces animaux, considérant un phénomène de mortalité massive et brutale de deux espèces d'animaux sauvages, les experts du GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » émettent l'hypothèse que l'intoxication des animaux découverts morts dans l'estuaire du Gouessant a été rendue possible, plus probablement par l'émission des gaz des larges vasières dans l'estuaire du Gouessant que par rupture des croûtes formées par les algues en putréfaction sur les plages.

3.2.5 3 Possibilités de facteurs combinés facilitant la mort des animaux

Le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » suggère que soient pris en compte d'autres agents susceptibles de favoriser le décès des animaux exposés au H₂S :

- *l'étouffement par la vase d'animaux inconscients ou en convulsion, compatible avec certains tableaux lésionnels attestant de la présence de vase dans la trachée. Pour des expositions modérées en H₂S (<400mg/m³), il est possible que l'étouffement corresponde à la cause principale du décès, le gaz trouvé dans les poumons n'étant que le témoin de la source environnementale.
Les éléments disponibles à ce jour ne permettent pas de quantifier les expositions pour les trente-six sangliers décédés.*
- *l'exposition simultanée des animaux à du NH₃ émis par la vasière, gaz à la fois irritant et neurotoxique. Cet élément labile n'a pas été recherché au laboratoire et le délai écoulé depuis la mort des sangliers et ragondins est à présent trop important pour que des recherches complémentaires puissent vérifier cette hypothèse.*

3.2.5.4 Conclusion sur une hypothèse d'intoxication aiguë liée au sulfure d'hydrogène

Le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal », compte tenu :

- des éléments contextuels ;
- de l'existence de source importante d'H₂S sur les lieux des décès ;
- du tableau lésionnel commun à plusieurs des cadavres, compatible avec une intoxication respiratoire par un gaz n'ayant pas d'effet visible sur d'autres organes ;
- de la concentration élevée de sulfure d'hydrogène dans les échantillons pulmonaires de certains cadavres prélevés ;
- de la relation des taux de sulfure d'hydrogène pulmonaire avec les lésions observées sur quatre cadavres frais,

considère que les animaux faisant l'objet de cette saisine ont pu être exposés à des émissions d'H₂S suffisamment importantes pour avoir provoqué une atteinte notable de la santé des animaux.

Cependant, les éléments d'information sur l'exposition réelle des animaux à ce gaz sont, à ce jour, trop fragmentaires pour apporter un diagnostic étiologique de certitude. Le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » recommande, en conséquence, que soient réalisées :

- des études complémentaires des gaz dégagés à hauteur de vase, qui permettraient de révéler une exposition suffisante pour provoquer l'intoxication aiguë des animaux dans les vasières, réalisées dans des conditions de température, pluviométrie, marées et éventuels relargages d'eau douce dans la rivière du Gouessant (barrage) identiques à celles constatées au moment de la mort des animaux ;
- des analyses histologiques des poumons et du cerveau, pour respectivement, corroborer l'œdème relevé à l'examen nécropsique, et les lésions neuronales constatées lors d'intoxications aiguës par l'H₂S.

L'hypothèse émise par le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » devrait être revue à la lumière de ces nouveaux éléments, bien que la probabilité d'obtention de données représentatives des taux réels d'exposition à l'H₂S semble très faible.

Conclusions et recommandations du GECU

Sur la question 1 « Toxicité aiguë de l'H₂S » :

Compte tenu :

- de l'absence de valeurs spécifiques de toxicité aiguë de l'H₂S dans la bibliographie disponible se rapportant aux animaux sauvages et plus spécifiquement au sanglier et au ragondin ;
- de l'existence de telles valeurs pour d'autres espèces animales : le porc, le rat, la souris, le lapin, et les ruminants ;
- de la convergence des valeurs de toxicité aiguë de l'H₂S pour les mammifères,

le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » propose que les données existantes chez le porc, d'une part, le rat et la souris, d'autre part, soient transposées pour, respectivement, le sanglier et le ragondin.

Valeurs extraites de la bibliographie proposées par le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal »

<i>Animal sensible</i>	<i>Référence(s) bibliographique(s)</i>	<i>Valeur de toxicité aiguë (mg/m³/temps d'exposition en minutes)</i>	<i>Animal sauvage pour lequel cette valeur est extrapolée</i>
<i>Rat/souris</i>	<i>Beauchamp et al., 1984 Cain, 1970 Dorman et al., 2002 INERIS, 2000</i>	CL₅₀ <i>CL₅₀ : 600 mg/m³ – 240mn CL₅₀ : 900 à 1 000 mg/m³ – 60mn CL₅₀ : 1 000 à 1 100 mg/m³ – 30mn CL₅₀ : 1 100 à 1 600 mg/m³ – 10mn</i>	<i>Ragondin</i>
<i>Porc</i>	<i>Beauchamp et al., 1984 O'Donoghue, 1961</i>	Concentrations létales (observées sur un seul animal) <i>1 400 mg/m³ – 100mn 1 500 mg/m³ – 20mn</i>	<i>Sanglier</i>

Sur la question 2 « Marqueurs d'exposition à l'H₂S et valeurs attendues » :

Compte tenu des articles scientifiques disponibles dans la bibliographie se rapportant aux biomarqueurs recherchés lors d'une intoxication au sulfure d'hydrogène, le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » recommande que les données, disponibles uniquement en santé publique, puissent être extrapolées aux animaux sensibles et que le gestionnaire puisse considérer les thiosulfates sanguins comme un biomarqueur représentatif, en parallèle d'une recherche de sulfure d'hydrogène dans les poumons et le cerveau.

Les valeurs seuils retenues par le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » sont les suivantes :

- dosage des thiosulfates sanguins : > 2 µg/ml de sang (Novotny-Baumann, 2008) ;
- dosage de l'H₂S dans le cerveau et/les poumons : > 1 mg/kg (Milby et Baselt, 1999).

Sur la question 3 « Interprétation des résultats observés » :

Compte tenu :

- du développement récent de la compagnie de sangliers concernés dans l'estuaire du Gouessant ;
- d'un phénomène de mortalité massive et brutale de la quasi-totalité de la compagnie en un lieu restreint, fortement évocateur d'une intoxication aiguë ;
- des résultats d'analyses toxicologiques permettant d'exclure une intoxication aiguë par les toxiques habituellement trouvés pour ce type de mortalité ;
- d'éléments commémoratifs et d'autopsie permettant d'exclure une intoxication collective d'origine alimentaire ;
- d'éléments lésionnels permettant d'exclure le botulisme ;
- des résultats de recherche de cyanotoxines dans l'eau et la vase peu en faveur de cette hypothèse diagnostique ;
- des tableaux lésionnels relevés dans les comptes-rendus d'autopsie évoquant une origine aérienne de l'intoxication ;
- de l'existence de sources importantes et permanentes d'H₂S sur le lieu de la mortalité ;
- de résultats de recherche d'H₂S dans les échantillons de poumons de plusieurs cadavres, compatibles avec une exposition à des concentrations d'H₂S susceptibles d'avoir provoqué la mort ou l'évanouissement ;

- de la concordance, sur trois cadavres frais, de lésions de l'appareil respiratoire pouvant laisser suspecter une intoxication à l'H₂S, avec des concentrations d'H₂S élevées relevées dans les échantillons pulmonaires correspondants ;

le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » considère hautement probable que la compagnie de sangliers et les ragondins aient pu être exposés à des concentrations de sulfure d'hydrogène contribuant aux lésions et au décès, sans pouvoir néanmoins affirmer qu'il s'agit du seul facteur contributif de la mortalité massive.

Le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » ne peut conclure formellement sur cette hypothèse en raison de l'absence des données réelles d'exposition venant corroborer les éléments sus-cités et d'éléments contextuels pouvant éliminer d'autres hypothèses.

Le GECU « Toxicité de l'H₂S chez l'animal » suggère :

- afin d'exclure plus certainement l'hypothèse d'une intoxication aiguë par des cyanotoxines, de réaliser des analyses complémentaires consistant, notamment, en une recherche de toxines (anatoxine A, saxitoxines) sur les prélèvements conservatoires de foie et de rein des animaux ;
- afin, de diminuer l'incertitude subsistant sur une hypothèse d'intoxication aiguë par le sulfure d'hydrogène, de réaliser les analyses complémentaires suivantes :
 - o dosage des thiosulfates sanguins, si possible, sur les caillots cardiaques éventuellement prélevés sur les cadavres autopsiés et conservés au laboratoire départemental,
 - o dosage de l'H₂S à partir des prélèvements conservatoires de cerveaux ;
 - o examen histologique à partir des prélèvements de poumons et de cerveaux ;
 - o réalisation de mesures de concentrations de gaz émis à hauteur de vase, dans des conditions de température, pluviométrie, marée et de relargage d'eau douce similaires ».

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

Tels sont les éléments d'analyse que l'Agence est en mesure de fournir en réponse à la saisine de la DGA sur une demande d'avis relatif à la toxicité du sulfure d'hydrogène (H₂S) chez l'animal et aux valeurs de toxicité disponibles dans la bibliographie sur ce sujet pour interpréter des résultats d'autopsie de sangliers et ragondins.

Au-delà, ces travaux soulignent que les enjeux sanitaires associés à la décomposition d'algues vertes, jusqu'à présent documentés pour les plages et ayant donné lieu à des mesures de gestion, pourraient également, le cas échéant, concerner les fonds d'estuaires et les lits de certaines rivières ; cette hypothèse restant à explorer.

Le directeur général

Marc MORTUREUX

MOTS-CLES

Mots clés :

Sanglier(s), H₂S, algues vertes, Côtes-d'Armor, faune sauvage, sulfure d'hydrogène, vase, vasière

BIBLIOGRAPHIE

Air Breizh (2011) Rapport de mesures d'H₂S à Morieux (22) du 04.08.11 au 11.08.11 4 p.

Almeida AF et Guidotti TL (1999). Differential Sensitivity of Lung and Brain to Sulfide Exposure : a peripheral mechanism for apnea *Toxicological Sciences* 50:287-293.

Anses (2010). « Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail sur des recommandations de prévention des risques liés aux algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs ». Avis de l'Anses (2010-SA-0175). 15 p.

Anses (2011). Algues vertes. Rapport d'expertise collective de l'Anses. 253 p.
<http://www.anses.fr/Documents/AIR2010sa0175Ra.pdf>

Anses (2011). « Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux risques liés aux émissions gazeuses des algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs » Avis de l'Anses (2010-SA-0175). 11 p.

Beauchamp RO Jr, Bus JS, Popp JA, Boreiko CJ et Andjelkovich DA (1984). A critical review of the literature on hydrogen sulfide toxicity *Crit Rev Toxicol.* 13: 25-97.

Borst, GHA (2001). Acute intoxication of pigs with hydrogen sulphide as a result of acidification of slums (Acute zwavelwaterstof (H₂S)-vergiftiging ten gevolge van aanzuring van mengmest op een varkensbedrijf) *Tijdschrift voor Diergeneeskunde* 126: 104-105.

Brown KG et Foureman GL (2005). Concentration-time-response modeling for acute and short-term exposures *Regul Toxicol Pharmacol* 43:45-54.

Dorman DC, Moulin FJ, McManus BE, Mahle KC, James RA et Struve MF (2002). Cytochrome Oxidase Inhibition Induced by Acute Hydrogen Sulfide Inhalation: Correlation with Tissue Sulfide Concentrations in the Rat Brain, Liver, Lung, and Nasal Epithelium *Toxicol. Sci.* 65:18-25.

Ducreux P (2010). Le risque d'intoxication aiguë par l'hydrogène sulfuré (H₂S) chez les professionnels chargés du ramassage, du transport et du traitement des « algues vertes », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Médecine agricole *Institut national de médecine agricole* 63 p.

Guidotti TL (2010). Hydrogen Sulfide: Advances in Understanding Human Toxicity *Int J Toxicol* 29:569-581.

INERIS (2000). Seuils de Toxicité Aiguë Hydrogène Sulfuré (H₂S). Rapport final 39 p.

Inrs (2009). Fiche toxicologique. Sulfure d'hydrogène (H₂S). 8 p.

Kage S, Takekawa K, Kurosaki K, Imamura T et Kudo K (1997). The usefulness of thiosulfate as an indicator of hydrogen sulfide poisoning : three cases *Int J Legal Med* 110:220-222.

Milby TH et Baselt RC (1999). Hydrogen Sulfide Poisoning: Clarification of Some Controversial Issues *Am. J. Ind. Med* 35:192-195.

Nagata T, Kage S, Kimura K, Kudo K et Noda M.(1990). Sulfide Concentrations in post-mortem mammalian tissues *JFSCA* 35:706-712.

Nagata T, Kage S, Kimura K, Kudo K et Imamura T (1994). How to diagnose polysulphide poisoning from tissue samples *Int J Leg Med* 106:288-290.

Novotny-Baumann M (2008). Intoxication par l'hydrogène sulfuré : Revue de la littérature, prise en charge et prévention Thèse pour le Doctorat de Médecine *Faculté de médecine Paris Descartes* 105 p.

O'Donoghue, JG (1961). Hydrogen sulphide poisoning in swine *Can. J. Comp. Med and Vet. Sci.* 25:217.

Reiffenstein RJ, Hulbert WC, Roth SH (1992). Toxicology of hydrogen sulfide *Annu.Rev.PharmacolToxicol* 1:09-34.

Sastre C, Baillif-Couniou V, Kintz P, Cirimele V, Christia-Lotter MA, Piercecchi-Marti MD, Leonetti G et Pelissier-Alicot AL (2010) Intoxication aiguë accidentelle par l'hydrogène sulfuré : à propos d'un cas inhabituel (Acute accidental poisoning by hydrogen sulfide: about an unusual case) *Ann Toxicol Anal.* 22 : 135-139.

Toxnet (2011). Données toxicologiques relatives à l'H₂S : <http://www.toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?./temp/>.

Ubuka T (2002). Review Assay methods and biological roles of labile sulfur in animal tissues *Journal of Chromatography B* 781:227-249.

Whiteman M, Le Trionnaire S, Chopra M, Fox B et Whatmore J (2011). Emerging role of hydrogen sulfide in health and disease: critical appraisal of biomarkers and pharmacological tools *Clinical Science* 121:459–488.